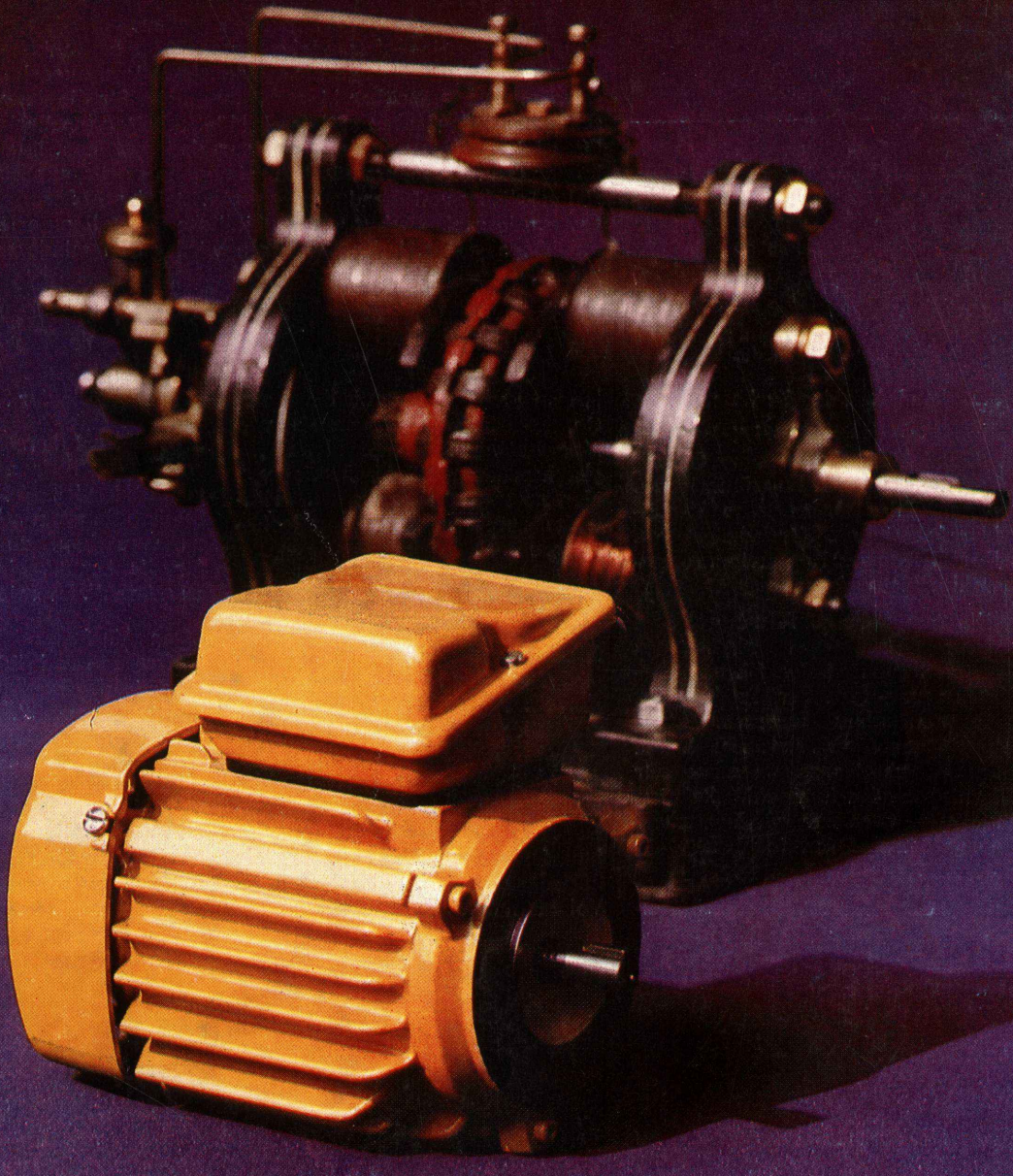
ELEKTRIE 5|88

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399

Ein Jahrhundert industrieller Elektromaschinenbau



40 Jahre volkseigener Elektromaschinenbau

VEM®

0120247

Zur Zeit noch im Fachbuchhandel erhältlich

Von Dr. sc. techn. Wolfgang Hauschild und Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Mosch. 268 Seiten, 185 Bilder, 56 Tafeln, Leinen, DDR 28,— M, Ausland 40,— DM.

Bestellangaben: 5532086/Hauschild, Statistik

Die Anwendung der mathematischen Statistik gewinnt in der Elektrotechnik ständig an Bedeutung. Jedoch erfordert die Lösung zahlreicher fachspezifischer Probleme eine unmittelbare Verknüpfung von angewandtem Fachwissen und Methoden der mathematischen Statistik. Dieses Buch will dem Elektrotechniker hierbei eine Hilfe sein und ihn gleichzeitig zur Grundlagenliteratur der mathematischen Statistik hinführen. Auf Grund der Tatsache, daß Methoden der mathematischen Statistik auf dem Gebiet der Hochspannungs- und elektrischen Isoliertechnik bereits in großem Umfang angewendet werden, ist der Stoff an Beispielen aus diesem Gebiet zusammengestellt. Zielstellung der Autoren bei der Erarbeitung dieses Buches war es, Studenten und in der Praxis tätigen Elektroingenieuren ein Hilfsmittel auf dem Gebiet der mathematischen Statistik fachbezogen und anwendungsbereit zur Verfügung zu stellen, um mit möglichst geringer Einarbeitungszeit umfassende, aussagekräftige Ergebnisse — insbesondere aus den notwendigen und oft sehr kostspieligen Experimenten — zu gewinnen. Es soll darüber hinaus Anregungen für die Anwendung statistischer Methoden geben und damit Möglichkeiten der Rationalisierung und Effektivitätssteigerung der Ingenieurarbeit eröffnen. Das Buch wird also immer dann besonders nützlich sein, wenn es gilt, experimentelles Material möglichst umfassend auszuwerten. Bei der Abfassung des Manuskriptes wurde großer Wert auf die bildliche Darstellung erläuterter Zusammenhänge gelegt. Jedes Verfahren wird durch mindestens ein Beispiel belegt.

Aus dem Inhalt des Buches:

Grundlagen im Überblick Wahrscheinlichkeitstheoretische Grundbegriffe. Verteilungsfunktionen. Ausgewählte theoretische Verteilungsfunktionen. Grundzüge von Korrelation und Regression. Ausgewählte Testverfahren

Planung, Durchführung und Auswertung von Messungen Auswahl von Meßverfahren, Versuchsparametern und Prüfanlagen. Konstantspannungsversuche zur Ermittlung der Verhaltensfunktion. Spannungssteigerungsversuche zur Ermittlung der Summenhäufigkeitsfunktion. Verfahren zur Ermittlung ausgewählter Quantile

Statistische Bewertung standardisierter Prüfverfahren Zielstellungen und Problematik der Isolationskoordination. Nachweis von Nennstehwechsel- und Nennstehgleichspannungen. Nachweis von Nennstehimpulsspannungen. Hinweise zur Bemessung von Isolierungen

Statistische Beschreibung des Isoliervermögens Wahl der Zufallsgröße. Luftisolierungen. Druckgasisolierungen. Flüssigkeitsisolierungen. Feststoffisolierungen. Zur Statistik von Teilentladungen

Vergrößerungsgesetze Problematik. Statistische Grundlagen. Anwendung auf theoretische Verteilungsfunktionen. Diskrete parallele Entladungsstellen. Flächeneffekt. Volumeneffekt. Zeiteffekt.

Einige Urteile der Fachpresse:

„Für alle auf dem Gebiet der Elektrotechnik Tätigen eine hervorragende Möglichkeit, mathematische Statistik in praktischer Anwendung zu verstehen, zu erlernen und für die Lösung eigener Aufgaben zu nutzen". Energietechnik Leipzig

„Den Verfassern ist eine klare, umfassende und didaktisch hervorragende Darstellung der Problematik gelungen". ETZ Elektrotechnische Zeitschrift, Offenbach

„Eine hervorragende Grundlage sowohl für die Forschung, Lehre und Weiterbildung als auch unentbehrlich für die Praxis".
Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, Zürich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

5|88 ELEKTRIE

42. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013-5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Goldene Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

Kleine Gleichstrommaschine (hinten) um 1895 (geblecht) und VEM-Standardmotor der heutigen Generation

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Inhalt

Seite

Aktuelle Informationen 162

Hahn, H.
Der Elektromotor mit volkswirtschaftlicher Bedeutung 163

40 Jahre volkseigener Elektromaschinenbau — Rückblick, Einblick, Blick in die Zukunft 164

Bedeutendes Ausstellungsereignis 1988 165

Fachaufsätze

Schubert, P.; Kochan, G.
Pioniere der Elektrotechnik — Ingenieure im Elektromaschinenbau 166

Möckel, R.
VEM-Niederspannungs-Asynchronmotoren — Zeugnis kontinuierlicher Forschung und Entwicklung 168

Reiche, H.
Forschung für den Elektromaschinenbau 173

Linsel, K.-H.; Porzel, R.
Diagnose von Isolierungsfehlern in Wicklungen elektrischer Maschinen 177

Harcks, G.
Rechnergestützte Impedanzberechnung trapezförmiger Rotorstäbe 180

Halle, H.; Großhahn, G.
Rechnergestützte Auswahl des mechanischen Übertragungselementes von VEM-Standardmotoren 182

Hoppe, S.
Stromrichter für Vorschubantriebe 183

Beckert, U.; Neuber, W.
Digitale Simulation von Asynchronmotoren mit Hochstabläufer im dynamischen Betrieb 187

Fischer, S.; Münch, U.; Paulig, E.; Schubert, P.; Vogt, K.; Witt, D.
Anwendung der Netzwerkanalyse auf dem Gebiete elektrischer Maschinen — Teil 2 190

Diedrichs, V.
Zur Identifikation der Modellparameter elektrischer Maschinen mit stochastischer Optimierung 193

Umschau

Patente 195

Aus anderen Zeitschriften 196

Bücher 197

AKTUELLE INFORMATION

Einsatz schwieriger Brennstoffe in Dampferzeugern und industriellen Feuerungen

XX. KRAFTWERKSTECHNISCHES KOLLOQUIUM

Zeit: 11. und 12. Oktober 1988
Ort: Dresden
Plenar- und Festsaal des Dresdner Rathauses

Veranstalter: Sektion Energieumwandlung der Technischen Universität Dresden gemeinsam mit der wissenschaftlichen Sektion Elektroenergie der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Energiewirtschaft, dem wissenschaftlichen Rat des Forschungsprogrammes „Ingenieurwissenschaftliche Grundlagen der Energiewirtschaft" des Ministeriums für das Hoch- und Fachschulwesen und dem Industriezweigaktiv Kraftwerksanlagenbau der KDT

Inhaltliche Schwerpunkte

— Betriebserfahrungen an Dampferzeugern und Industriefeuerungen für problembehaftete Brennstoffe einschließlich Salzkohlen, Ölschiefer, Abfallprodukten und Biomassen
— verbrennungstechnologische Bewertung und Einsatzgrenzen von Brennstoffen
— Leistungsgrenzen von Ventilatormühlen in Abhängigkeit vom steigenden Ballastgehalt
— Zündmechanismus und Zündstabilität
— Verfahrenstechnische Einflußnahme auf Feuerraum-Verschlackung und Nachschaltheizflächenverschmutzung
— Vorausberechnung des Temperaturverlaufes in Feuerräumen, wandnahen Grenzschichten und an reagierenden Brennstoffpartikeln
— physikalische und mathematische Modellierung von Brennern, Feuerräumen und reaktionskinetischen Vorgängen als Grundlage für konstruktive Entscheidungen
— Beherrschung von Problembrennstoffen mit Wirbelschichtfeuerungen und perspektivischen Verbrennungssystemen

Anfragen

Technische Universität Dresden
Sektion Energieumwandlung
Bereich Energiesystem- und Kraftwerkstechnik
Dr.-Ing. *K. Nöther*
Tel.: Dresden 4 63 53 08
Mommsenstr. 13
Dresden
8027

K. Nöther, Dresden EA 2568

Aufsetzmethode in der Leiterplattentechnik unter Berücksichtigung der Nacktchipverarbeitung

Fachtagung mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern

Zeit: IV. Quartal 1988
Ort: Berlin

Veranstalter: Fachverband Elektrotechnik in der Kammer der Technik; Wissenschaftliche Sektion Technologie des elektronischen Gerätebaues

Inhaltliche Schwerpunkte

1. Möglichkeiten und Grenzen der Baugruppenrealisierung
   — monolithische Integration
   — hybride Integration
   — SMD-Technologie
   — Nacktchipverarbeitung
2. Voraussetzungen zur Einführung der Aufsetzmontage für SMD und Nacktchips
   — Bauelementesortiment, Bauelementeverpackung
   — Trägersysteme
   — Hilfsmaterialien (Kleber, Lötpasten, Lote, Mikrodrähte, Verkappung)
   — Bestückungstechnik
   — Meß- und Prüftechnik
3. Verfahren und Ausrüstungen
   — CAD von Leiterplatten u.a. Trägersystemen
   — Fixierung und Kontaktierung der Bauelemente
   — CAQ
   — Reparaturmöglichkeiten der Baugruppen
   — Spezialausrüstungen
4. Anwenderbeispiele
   — SMD-Technik
   — Nacktchipverarbeitung (einschließlich Kundenwunschschaltkreise)
5. Fachspezifische Ausstellung
   — Baugruppenmuster
   — Sondergeräte
   — Software für CAD, CAM, CAQ und weitere nachnutzungsfähige Unterlagen

Anfragen

Teilnahmemeldungen, Vortragsvorschläge und Ausstellungsangebote sind schriftlich an den FV Elektrotechnik zu richten.
Kammer der Technik
Präsidium
FV Elektrotechnik
Postfach 1315
Berlin
1086

H. Hoppe, Berlin EA 2750

TECHNOBOND '89

10. Wissenschaftliche Fachtagung mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern

Zeit: I. Quartal 1989
Ort: Leipzig

Veranstalter: Fachverband Maschinenbau in der KDT

Inhaltliche Schwerpunkte

— Neuartige Klebstoffe und Gießharze, die automatisierte Fertigungslösungen ermöglichen
— Entwicklung der Kleb- und Gießharztechnik im Maschinenbau und in der Elektrotechnik
— Entwicklung der Kleb-, Gießharztechnik und Plastanwendung im Bauwesen
— Kleb- und Gießharztechnik in der metallverarbeitenden Industrie und der Elektrotechnik
  • Grundlagen der Verarbeitung von Klebstoffen und Gießharzen (Adhäsion, neue Verfahren der Oberflächenbehandlung, Eigenschaftsbild von Klebstoffen)
  • Spannungen in belasteten Klebverbindungen, Festigkeit und Beständigkeit
  • Rechnergestützte Arbeitsweisen (Klebstoffwahl, Gestaltung und Berechnung von Klebverbindungen)
  • Automatisierte Klebstoffverarbeitung
  • Anwendungsbeispiele
— Kleb- und Gießharztechnik/Plastanwendung im Bauwesen
  • Festigkeitsbeanspruchte Klebverbindungen
  • Energie- und materialökonomisches Bauen
  • Kleben, Gießen und Beschichten unter Baustellenbedingungen
  • Instandhaltung, Sanierung und Rekonstruktion
  • Fugenabdichtung
  • Polymerbeton

Anfragen

Interessenten, die einen aktiven Beitrag zu den vorgenannten inhaltlichen Schwerpunkten leisten wollen, wenden sich bitte schriftlich an den Vorsitzenden der Tagungskommission:
TU Dresden
Sektion Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen
Dr. rer. nat. Dr.-Ing. *Horst Kleinert*
Mommsenstr. 13
Dresden, 8027

K. Schwedt, Berlin EA 2812

Wissenschaftliche Tage 1988 der Technischen Universität „Otto von Guericke" Magdeburg

Im Rahmen der Wissenschaftlichen Tage 1988 der TU „Otto von Guericke" Magdeburg sind folgende Veranstaltungen vorgesehen:

- Erneuerung von Prozessen und Erzeugnissen durch Schlüsseltechnologien
  Stand — Probleme — Perspektive
  Tagung
  Zeit: 31. August und 1. September 1988
- Mechanische Flüssigkeitsabtrennung
  Diskussionstagung
  Zeit: 12. und 13. Oktober 1988
- Brand- und Explosionsschutz
  Zeit: 26. und 27. Oktober 1988
- Ultraschallschweißen
  Spezialistenkonferenz
  Zeit: 2. und 3. November 1988

Anfragen

Technische Universität
„Otto von Guericke" Magdeburg
Tagungsbüro, Tel.: 592209
Postschließfach 124
Magdeburg
3010

A. Neubauer, Magdeburg EA 2759

Der Elektromotor mit volkswirtschaftlicher Bedeutung

Von

Prof. Dr. oec. Hansjoachim Hahn

Generaldirektor des
VEB Kombinat Elektromaschinenbau
Dresden

Ein Jahrhundert nach dem Beginn der industriellen Produktion hat die elektrische Maschine nichts von ihrer Attraktivität verloren. Im Gegenteil, der Bedarf der Volkswirtschaft der DDR wächst weiter sprunghaft an. Wie in den vergangenen vier Jahrzehnten seit der Überführung der Betriebe in Volkseigentum wird dem Elektromaschinenbau auch künftig eine große Verantwortung für die Sicherung einer dynamischen und stabilen Leistungsentwicklung der Volkswirtschaft unserer Republik zukommen.

Der volkseigene Elektromaschinenbau der DDR ist deshalb angehalten, den wachsenden Forderungen durch eine ständige Erhöhung der Automatisierung der Produktion gerecht zu werden.

Das planmäßige wirtschaftliche Wachstum der DDR-Industrie und die Exportverpflichtungen werden zur Erfüllung der Aufgaben des Elektromaschinenbaus in den nächsten Jahren weiterhin große Anstrengungen erfordern, die sich auf die Forschung und Entwicklung, dabei mit Nachdruck auf die Verfahrenstechnik, und auf die Investition von Ausrüstungen konzentrieren werden. Einer der jüngsten Erfolge beim Einsatz hochautomatisierter Produktionsanlagen ist die Inbetriebnahme einer Ständerfließreihe für Hermetikmotoren. Das Titelbild illustriert diese Leistung.

Die elektrische Antriebstechnik entwikkelt sich aber auch qualitativ. Bei einer weiteren Zunahme der drehzahlvariablen Antriebstechnik bildet sich die drehzahlvariable Drehstromtechnik gegenüber der üblicherweise drehzahlvariablen Gleichstromtechnik als ein Erzeugnissortiment heraus, das immer energischer von der Anwenderindustrie gefordert wird. Die Ursache ist das Streben nach gleitkontaktlosen elektrischen Antrieben, das sich sowohl im Verarbeitungsmaschinenbau als auch im Gerätebau hinsichtlich der Kleinmaschinen im Sinne hoher Zuverlässigkeit und minimiertem Wartungsaufwands äußert.

Die Weltmarktfähigkeit der Erzeugnisse des Werkzeug- und Verarbeitungsmaschinenbaus hängt in Zukunft ganz wesentlich vom Einsatz einer wartungsarmen Drehstromantriebstechnik ab. Die Drehstromvariante sichert darüber hinaus allein die Einführung drehzahlvariabler Antriebe in Bereichen mit rauhen Umgebungsbedingungen, in der Papierindustrie, in der Chemieindustrie und in der Wasserwirtschaft. Nur auf diese Weise können bedeutende energieökonomische Reserven durch Ablösung der verlustbehafteten Förderstromregelung erschlossen werden.

Die Erfahrungen des Elektromaschinenbaus beim Einsatz leistungselektronischer Stellglieder, insbesondere von Transistorumrichtern, haben gezeigt, daß neben dem vordergründig angestrebten energie- oder materialökonomischen Effekt ein ebenso hoher zusätzlicher ökonomischer Gewinn durch die im Zuge der Einführung der Drehzahlstellung realisierte Regelungstechnik für die Automatisierung der betreffenden technologischen Prozesse eintritt. Diese Erfahrungen der Anwender haben zu einer zusätzlichen Motivierung geführt und sind Ursache für den unerwartet hohen Bedarf an Transistorumrichtern.

Die Tendenz zur Erhöhung des Anteils drehzahlvariabler Antriebe hat das Problem des Angebots kompletter Antriebe an den Elektromaschinenbau herangetragen. Der VEB Kombinat Elektromaschinenbau wird trotz der hohen Belastungen durch die Steigerung der Motorenproduktion der Verpflichtung gerecht werden, Steuerelektronik und andere Elemente eines drehzahlvariablen Antriebs dem Elektromotor beizustellen und auch selbst zu produzieren, weil allein dieses Vorgehen die Vorteile einer konsequenten Arbeitsteilung in der Wirtschaft bei der Produktion von Elektromotoren und Steuerelektronik im Sinne höchsten volkswirtschaftlichen Effekts sichern kann.

Die optimale Lösung von Antriebsproblemen setzt die Entwicklung eines modifikationsfähigen Erzeugnissortiments voraus. Dafür stehen heute aus eigener Produktion neben den Motoren der Standard-Erzeugnisreihen und leistungselektronischen Stellern eine Vielzahl von Antriebskomponenten wie Drehzahlgeber, Kupplungen, Bremsen und Getriebe bereit, die bis auf wenige Prozent das maximale international verfügbare Angebot ausfüllt.

Zum optimalen Antriebsangebot gehört auch die Verfügbarkeit von Expertenwissen. Schrittweise wird das Know-how zur Gestaltung moderner, d.h. hochausgenutzter, aber auch immer noch zuverlässiger Antriebe in Form von Software als ein System der „Antriebsgerechten Auswahl von Antriebskomponenten" bereitgestellt werden. Wissenschaftlich begründete Methoden des Antriebsentwurfs stehen im Zuge der umfassenden Nutzung von Personalcomputern auch solchen Anwendern zur Verfügung, die bisher nach Gutdünken und deshalb mit zu großer Sicherheit beim Einsatz der Motoren vorgingen.

Eine besondere Bedeutung erwächst der Antriebsprojektierung mit Personalcomputern aus den gestiegenen Anforderungen an das Fachwissen, das mit der Einführung drehzahlvariabler Antriebe, speziell von Antrieben mit Asynchronmotoren und Frequenzstellern verbunden ist. Einerseits sind den Antriebsexperten die Arbeitsmittel in die Hand zu geben, um die notwendigen Investitionen optimal den Antriebsforderungen anzupassen und andererseits ist für die breiten Anwenderkreise das Projektierungsniveau sprunghaft über die überschlägige Auswahl der Motoren aus den Firmenlisten zu heben.

Die internationale wissenschaftlich-technische Tagung „Ein Jahrhundert industrieller Elektromaschinenbau — 40 Jahre volkseigener Elektromaschinenbau", die vom 7. bis 9. Juni 1988 in Dresden stattfindet, wird die hohe Verantwortung sichtbar werden lassen, mit der heute, nach einem hundertjährigen Entwicklungsweg, die rotierende elektrische Maschine in aller Welt erforscht und weiterentwickelt wird.

40 Jahre volkseigener Elektromaschinenbau

Rückblick, Einblick, Blick in die Zukunft

In diesem Juni ziehen sowohl die Ausstellung ANTRIEBE als auch die Internationale Wissenschaftlich-technische Tagung in Dresden aus Anlaß „Ein Jahrhundert industrieller Elektromaschinenbau — 40 Jahre volkseigener Elektromaschinenbau" ein großes Interesse der Fachwelt wie auch der Öffentlichkeit auf sich. Damit wird nicht nur einem technisch-wissenschaftlichen oder volkswirtschaftlichen, sondern vielmehr auch einem erstrangigen kulturellen Interesse und einer kulturpolitischen Notwendigkeit entsprochen. Diese Zusammenhänge und Verflechtungen werden immer enger. Es ist von zunehmender gesellschaftlicher Bedeutung, sich ihrer und ihrer Wirkungen bewußt zu werden.

Lebendige, schöpferische Beziehungen, ein aktives und zukunftsorientiertes Verhältnis zu allen progressiven, humanistischen und revolutionären Ideen, Werten, Persönlichkeiten und Ereignissen in der Geschichte unseres Volkes und der ganzen Menschheit waren und sind untrennbarer Bestandteil der Gesellschafts- und Kulturpolitik in unserer Republik. Alles Große und Edle, Humanistische und Revolutionäre der Vergangenheit in Ehren zu bewahren und weiterzuführen, indem es in eine lebendige Beziehung zur Gegenwart gesetzt wird, wie es im Programm der SED als Aufgabe gestellt ist [1], bezieht sich keineswegs etwa nur auf die Aneignung und die Pflege humanistischer und revolutionärer Traditionen aus Kunst und politischer Geschichte. Wir erschließen uns das kulturelle Erbe in seiner ganzen Breite, Differenziertheit und reichen Vielgestaltigkeit in allen materiellen Bereichen und geistigen Sphären der Gesellschaft und aus allen geschichtlichen Epochen auf der Grundlage des historischen Materialismus — von der Geschichte der Klassen und Schichten und ihrer Kämpfe über die Entwicklung der Produktivkräfte, der Technik, der Wissenschaften und der Moral bis zu den Künsten. Zur Entwicklung des Schöpfertums der Menschen von heute brauchen wir alle diese Erfahrungen der Geschichte der Kultur, der Wissenschaft und der Technik. Kaum einen besseren Weg könnte derjenige einschlagen, dem es ernstlich darum zu tun ist, sich eine eigene Anschauung über die Fragen zu bilden, die mit der Stellung der Technik zu anderen Tätigkeitsbereichen der Menschen zusammenhängen, sagte der Nestor der technischen Mechanik um die Jahrhundertwende, der Leipziger Ingenieur *August Föppl*, der durch sein Lehrbuch Generationen von Ingenieuren gebildet hat, als sich über den Lebensgang der großen Erfinder und Bahnbrecher im Reiche der Technik zu unterrichten. In unseren Tagen, unter den Bedingungen der wissenschaftlich-technischen Revolution, brauchen wir mehr denn je ein ausgewogenes Verhältnis, die Einheit von Historizität, Aktualität und Zukunftsorientierung. Heute werden hohe und ständig wachsende Anforderungen an die Schöpferkraft, die Fähigkeiten, die Arbeitsmoral und den Leistungswillen der Werktätigen gestellt. Deshalb ist es nicht eine Ermessensfrage, sondern vielmehr ein Erfordernis von Gegenwart und Zukunft, sich den vielfältigen geschichtlich-kulturellen Zeugnissen aus der Arbeit und der Lebensweise des Volkes, den progressiven Traditionen in den Arbeits- und Lebensgewohnheiten der Menschen verstärkt zuzuwenden.

Diesem Erfordernis, ja Bedürfnis entsprechen die Aktivitäten des VEB Kombinat Elektromaschinenbau Dresden (in Zusammenarbeit mit der Kammer der Technik und den Technischen Universitäten Dresden und Karl-Marx-Stadt) „Ein Jahrhundert industrieller Elektromaschinenbau — 40 Jahre volkseigener Elektromaschinenbau" ebenso wie die Restaurierung des Hammer- und Walzwerkes Ohrdruf durch den VEB Stahlverformung, die Rekonstruktion der ersten deutschen Dampfmaschine Wattscher Konstruktion in Hettstedt durch den VEB Mansfeld-Kombinat, die Eröffnung des „Bergbaumuseums Karl-Liebknecht-Schacht" in Oelsnitz (Erzgebirge) u.v.a. Viele gesellschaftliche Kräfte, Betriebe und Kombinate, wissenschaftliche Einrichtungen und staatliche Organe haben sich in jüngster Zeit neben den künstlerischen Überlieferungen entschlossener und umfassender dem Erbe und den Traditionen der Naturwissenschaften und der Technikgeschichte zugewandt. Sie haben damit, wie die vielfältigen Erfahrungen anschaulich zeigen, neue und sehr wirkungsvolle Möglichkeiten erschlossen, Wissen um die Lehren der Geschichte, Gefühl für Würde und Stolz auf die Schöpferkräfte des Menschen, schöpferische Neugier, kritische Phantasie, Verantwortungsgefühl, Fleiß und kooperative Arbeitsweise herauszubilden und zu festigen. Das gilt nicht zuletzt auch für die Überwindung einer mit Vorurteilen belasteten, einer falschen Haltung zu Wissenschaft und Technik, für die Erzeugung der Fähigkeit, Irrwege rechtzeitig zu erkennen und zu vermeiden, für die Entwicklung einer kritischen Verantwortung, die wir gegenüber den kommenden Generationen haben, wenn wir Wissenschaft betreiben und Technik anwenden.

Doch im Lichte unserer Fortschritte auf diesem Gebiet erscheint auch umso klarer, daß noch viel zu tun, vieles Unerledigte aufzuarbeiten, vieles zu entdecken ist. So verdienen die historisch gewachsenen Traditionen der Arbeiterklasse und Gewohnheiten des Arbeiterlebens in ihrer Wechselbeziehung zu den neuen, im Sozialismus entstandenen Arbeitstraditionen und Lebensgewohnheiten im städtischen Kulturleben, in der sozial-kulturellen Entwicklung industrieller Gebiete und Regionen eine noch wesentlich stärkere Beachtung und Förderung. Größerer Ideenreichtum und vielfältigere Aktivitäten sind nötig, eine immer umfassendere Beziehung der Werktätigen, insbesondere der Jugend, zur Geschichte der Naturwissenschaft und Technik herzustellen. In größerem Umfange und höherer Qualität müssen wir die Geschichte der Produktivkräfte, der Technik, auch ihren kulturellen Wert, erforschen und so anschaulich, erlebbar wie möglich dokumentieren, zugänglich machen — nicht mit alten Mühlen, Hammerwerken und Bauernwirtschaften nur, sondern auch und vor allem mit den Zeugnissen der industriellen Revolution. So wie wir uns mit zunehmender Selbstverständlichkeit tiefer, umfassender und differenzierter mit *Luther*, *Müntzer*, *Friedrich II.*, *Bismarck* u.a. befassen, sollten wir das auch mit *Borsig*, *Siemens*, *Benz*, *Zeiss*, *Zeppelin*, *Hartmann* u.v.a. — und nicht nur aus Anlaß von Gedenktagen — tun.

Zur Lösung der Aufgabe, unsere Leistungsfähigkeit, orientiert am fortgeschrittensten Stand der Erkenntnisse in der Welt, in kürzester Frist so zu entwickeln, daß wir auf entscheidenden Gebieten das internationale Leistungsniveau mitbestimmen oder bestimmen, ist es zum Beispiel von strategischem Interesse, das Wissenschaftserbe des 19. Jahrhunderts, aus einer Zeit, in der bahnbrechende Leistungen in der Wechselwirkung von bürgerlicher und industrieller Revolution vollbracht wurden, gründlich zu durchforschen und anschaulich zu machen. Dazu gehört auch das Bewußtsein von der großen historischen Leistung deutscher Arbeiter, Techniker, Ingenieure und Wissenschaftler, damals den technisch-technologischen Rückstand gegenüber England nicht nur wettzumachen, sondern durch einen Vorsprung auf entscheidenden Gebieten aufzuheben [2]. Vor allem sollten wir noch vielmehr und viel Anregenderes, Abwechslungsreicheres tun, um die großen Veränderungen zu propagieren, die in unserem Land durch Wissenschaft und Technik bewirkt worden sind und bewirkt werden, handelt es sich doch um einen Bereich, in dem gerade Erbe und Tradition — gründlich aufgearbeitet und exakt bewertet, also auch in seiner ganzen Widersprüchlichkeit erkannt und dargestellt — als Erfahrung von gestern unmittelbar in das Heute hineinreichen und die Zukunft vorprägen. Mit *Goethe* gesagt: „Die Geschichte der Wissenschaft ist die Wissenschaft selbst" [3]. Autorität und Möglichkeiten von Wissenschaft und Technik auch durch den Blick auf ihre geschichtliche Entwicklung, auf ihre Widersprüche und auf ihre revolutionierenden Leistungen und Traditionen zu stärken, kann und wird mithelfen, ein förderndes Klima für Höchstleistungen auf diesem Gebiet zu schaffen. In der Gegenwart brauchen wir mehr denn je auf allen Ebenen und in allen Bereichen ein Erbe- und Traditionsverständnis und -verhalten, das souverän, schöpferisch-kritisch mit dem Überlieferten auf allen Gebieten gesellschaftlicher Lebenstätigkeit und aus allen Epochen umgeht, das weder unzulässige, unproduktive Vereinfachungen noch Vereinseitigungen kennt. Uns darf nichts verlorengehen, was die revolutionären und revolutionierenden Entwicklungsprozesse der Produktivkräfte, die Entwicklung der Schöpferkräfte des Menschen uns erlebbar vermittelt. Denn: Wissen und Gefühl, Erkenntnis und Emotion dafür sind unabdingbar für das volle Begreifen der umwälzenden Wirkung der wissenschaftlich-technischen Revolution, ihres Nutzens und ihrer Möglichkeiten für die Produktion, das Denken und die Lebensweise der Menschen von heute und morgen.

Prof. Dr. *Werner Kühn*
Sekretär des Nationalen Rates der DDR zur Pflege und Verbreitung des deutschen Kulturerbes

Literatur

[1] IX. Parteitag der SED, 18. bis 22. Mai 1976; Programm der SED. Berlin: Dietz-Verlag 1976, S. 52
[2] *Böhme, H.-J.:* Erbeaneignung und Traditionspflege in der Wissenschaft. Das Hochschulwesen 34 (1986) 8, S. 187–192
[3] *Goethe, J. W.:* Sämtliche Werke, Bd. 3. Stuttgart 1869. S. 916

EA 5927

Bedeutendes Ausstellungsereignis 1988

Einer der Höhepunkte des Ereignisses „Ein Jahrhundert industrieller Elektromaschinenbau — 40 Jahre volkseigener Elektromaschinenbau" ist die Ausstellung ANTRIEBE (4. bis 19. Juni 1988, Ausstellungszentrum Fučikplatz, Dresden).

Was ihren Inhalt betrifft, so hat diese Ausstellung in der Geschichte der DDR noch kein Vorbild. Ihr Anspruch ist mehr als der einer Exponateschau, wie etwa dem jährlichen Messe-Angebot in Leipzig.

Obwohl die Geschichte der Elektrotechnik in der Welt zahlreiche berühmte Exponate-Vorstellungen verzeichnet — eine der ersten war die „Internationale elektrotechnische Ausstellung" vom 15. Mai bis 15. Oktober 1891 in Frankfurt (Main) — muß man konstatieren, daß sich bisher keiner in Europa einem solchen Anliegen gestellt hat, wie es die Ausstellung ANTRIEBE in ihrem 35seitigen Exposé formulierte.

Sie will erstmalig die für die Entwicklung der Produktivkräfte und des Lebensniveaus gleichsam bedeutende Technik elektrischer Maschinen und Antriebe in den historischen Rahmen von den physikalischen Entdeckungen des frühen 19. Jahrhunderts bis zu den Anforderungen und Lösungen stellen, die sich aus der wissenschaftlich-technischen Revolution am Ende des 20. Jahrhunderts ergeben.

Das umfaßt immerhin einen Zeitraum von rund 170 Jahren. Die Gliederung der Ausstellung berücksichtigt ausgewogen im Sinne unserer Geschichts-, Wirtschafts- und Sozialpolitik

— Traditionen
— Erfüllung individueller Bedürfnisse und Interessen
— Erfüllung gesellschaftlicher Bedürfnisse und Interessen
— zukunftsweisende Entwicklungslinien.

Grundstock des Exponateprofils sind die von Struktureinheiten, Werken und Betrieben des VEB Kombinat Elektromaschinenbau gemeinsam mit den Partnern der Wirtschafts- und Wissenschaftskooperation beizubringenden Spitzenleistungen der elektrischen Antriebstechnik. Dazu kommen Sachzeugen und Dokumente der Technik-, Industrie- und Sozialgeschichte. Hier sind in großem Umfang Leihgaben zur Erzielung der notwendigen Aussagen vorgesehen. Ergänzend zu bestehenden Traditionssammlungen der Betriebe werden erste Exemplare eines erweiterten eigenen Fundus historischer Elektromaschinen eingesetzt. Historische Stücke, aber auch Spitzenleistungen werden teilweise erstmalig in einem solchen Zusammenhang gezeigt.

Ziel der Ausstellung ist, die Wirkung der elektrischen Maschinen und Antriebe auf die Gesellschaft, auf die Entwicklung der Produktivkräfte gleichermaßen wie auf den Alltag des Volkes zu verdeutlichen. Dabei wird es möglich sein, die in der Gegenwart erneut zunehmende Bedeutung elektrischer Antriebe, die rasche quantitative Vergrößerung ihres Einsatzes sowie die Schaffung qualitativ neuer Lösungen durch und für Spitzentechnologien zu belegen. Es wird daran erinnert, daß die DDR ein international führendes Land des Elektromaschinenbaus ist und bedeutende Traditionen auf diesem Gebiet hat.

In der Vorbereitung der Ausstellung konnte aufgeklärt werden, daß Traditionslinien des volkseigenen Elektromaschinenbaus der DDR und Aktivitäten der Vorgeschichte der elektrischen Antriebstechnik in unserer Region weiter zurückreichen als bisher angenommen wurde. Wie kaum eine andere Technik haben elektrische Maschinen und Antriebe über einen so langen geschichtlichen Zeitraum Produktivkräfte einschließlich der Wissenschaft und die Lebensqualität nachhaltig beeinflußt. Das und ihre gesicherte Zukunftsbedeutung machen sie deshalb besonders geeignet, Zusammenhänge zwischen technik- und gesellschaftshistorischen Vorgängen zu veranschaulichen. Die Themenkomplexe beschäftigen sich mit den Wirkungen elektrischer Maschinen und Antriebe auf

— Technik-, Industrie- und Sozialgeschichte
— Gesundheits-, Hygiene- und Körperpflege
— Ernährung
— Kleidung und Wäsche
— Kultur — Freizeit — Erholung
— Rohstoffe — Werkstoffe — Energie
— Produktionsvorbereitung
— Produktion
— Verkehr
— Außenhandel
— Wissenschaftskooperation, Ausbildung und Lehre
— Schlüsseltechnologien
— Forschung.

Die Ausstellungsdramaturgie sieht keine didaktische Folge, sondern eine weitestgehend selbständige Aussage der Teilabschnitte vor. Sie ermöglicht bei den Teilabschnitten sowohl Nachträge zur Technik-, Industrie- und Sozialgeschichte als auch Vorgriffe zu den zukunftsweisenden Entwicklungslinien.

Den Besuchern sollen je nach ihren Interessen und Voraussetzungen individuelle Gänge und verschiedene Sichten ermöglicht werden. Der Ausstrahlung auf die heranwachsende Generation wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Funktionsdemonstrationen bilden einen Schwerpunkt der Ausstellungskonzeption.

So „arbeiten" z. B. in der Ausstellung ständig das Berufsberatungskabinett des Stammbetriebes sowie das Computer-Kabinett der Betriebsberufsschule.

Zu den Spitzenexponaten gehören u. a. die erste Dynamomaschine von *W. Siemens*, das Modell des NEWA-Bootes von 1838 (*Jacobi*) mit dem ersten leistungsfähigen Elektromotor, Sachsenwerk-Maschinen aus den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts und interessante Sachzeugen aus den vierzig Jahren der Entwicklung des DDR-Elektromaschinenbaus.

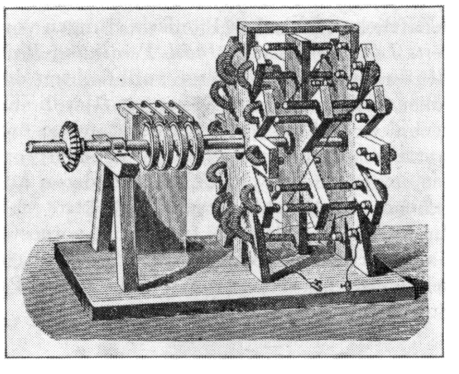


Bild 1. Jakobis Motor 1838

An der Bereitstellung der Exponate sind ausnahmslos alle Betriebe des Kombinates beteiligt sowie eine Vielzahl weiterer Partner des In- und Auslandes. So manches Dokument wird erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt.

Die Ausstellung wird durch eine Vielzahl täglicher Zusatzveranstaltungen (Vorträge, Podiumsgespräche usw.) ergänzt. Darüber hinaus sind interessante Video-Streifen („VEM-Elektromaschinen", „VEM-Getriebemotoren", „Die Zukunft hat schon begonnen", „Strom an der Spree" u. a.) während der gesamten Öffnungszeit im Einsatz. In der benachbarten Ausstellungshalle befindet sich die Stadtmesse der Meister von morgen.

Jeder Ausstellungsbesucher ist an einem Preisausschreiben beteiligt, für dessen Gewinner über 500 elektromotorisch betriebene Konsumgüter bereitstehen.

H. Müller, Dresden

EA 5914

Pioniere der Elektrotechnik – Ingenieure im Elektromaschinenbau

P. Schubert, KDT; G. Kochan, KDT; Dresden

Nach wie vor werden höchste Leistungen in Wissenschaft und Technik von Menschen getragen, die sich durch schöpferische Neugier, kritische Phantasie, außergewöhnlichen Fleiß und kooperative Arbeitsweise auszeichnen. Schöpfertum von heute muß sich Erfahrungen der Geschichte von Wissenschaft und Technik zu eigen machen. Als Repräsentanten der frühen industriellen Phase des Elektromaschinenbaus in unserer Region würdigen wir *Emil Gottfried Fischinger*, *Max Corsepius* und *Julius Heubach*.

Die Forderungen an Wissenschaft und Technik nach neuen Dimensionen ihrer Leistungsfähigkeit schließen ein, daß sich beide mit sich selbst, ihren eigenen Entwicklungsproblemen und Leistungsmöglichkeiten, also nicht zuletzt mit ihrer Geschichte befassen.

Bedingt durch die hohe Dynamik der sozialen und wissenschaftlich-technischen Entwicklung und des zunehmenden Erfordernisses, besser über die Verflechtung von Wissenschaft, Produktion und Gesellschaft Bescheid zu wissen, hat die Wissenschafts- und Technikgeschichte in den letzten Jahren einen bedeutenden Aufschwung erfahren. Sozialistisches Geschichtsbewußtsein auszuprägen, ist daher für uns die wichtige Aufgabe einer Geschichte von Wissenschaft und Technik, die auf die Herausbildung und Festigung eines progressiven und humanistischen Wissenschaftsverständnisses und die Förderung des Schöpferischen in Wissenschaft und Produktion gerichtet ist.

Am Beginn des 19. Jahrhunderts war die ökonomische Leistungsfähigkeit Deutschlands und mit ihr die wissenschaftlich-technische scheinbar hoffnungslos hinter dem kapitalistischen England, der „Werkstatt der Welt", zurückgeblieben. Gestützt auf die wissenschaftlich-technischen Pionierleistungen von *Johann Andreas Schubert*, *Julius Weisbach*, *Jacob Ferdinand Redtenbacher*, *Gustav Anton Zeuner* und vieler anderer vollbrachten deutsche Arbeiter, Techniker, Ingenieure und Wissenschaftler die historische Leistung, den technisch-technologischen Rückstand gegenüber England nicht nur wettzumachen, sondern ihn durch einen Vorsprung auf anderen Gebieten aufzuheben [1]. Einen besonderen Aufschwung nahmen, ausgehend vom Maschinenbau, die Elektrotechnik und die Chemie.

Im folgenden sollen drei Ingenieure vorgestellt werden, deren Leben und Wirken untrennbar mit dem Aufschwung des Elektromaschinenbaus in seiner frühen industriellen Phase, wie überhaupt der Starkstromtechnik, verbunden ist.

1. Dr.-Ing. e.h. Emil Gottfried Fischinger (1860 bis 1931)

Der aus einfachen Verhältnissen stammende Müllerssohn *E. G. Fischinger* (Bild 1) wurde am 5. November 1860 in Hausach/Baden geboren. Er erlernte den Beruf eines Feinmechanikers und kam — zunächst als Monteur — 1880 zur 1873 gegründeten Chemnitzer Firma Hermann Pöge. In den Abendstunden widmete er sich im Selbststudium der technischen, insbesondere der elektrotechnischen Wissenschaft. Die Erweiterung seiner theoretischen Kenntnisse verdankt er besonders dem am Chemnitzer Polytechnikum tätigen Lehrer Prof. *Adolf Weinhold* (1841 bis 1917).

Fleiß, Tüchtigkeit und Kreativität halfen ihm, bei *Pöge* die berufliche Stufenleiter über den Konstrukteur bis zum Fabrikleiter zu ersteigen. Er konstruierte Bogenlampen, Meßinstrumente, Regulierwiderstände und Schalter sowie ab 1883 Dynamomaschinen (Bild 2). Von 1884 bis 1887 stieg die Belegschaft der Fabrik von 10 auf 150 Arbeiter.

Schon im Alter von 27 Jahren hatte *Fischinger* zahlreiche Neuerungen auf dem Gebiet der energetischen Elektrotechnik zum Patent angemeldet, so zur Blechung des magnetischen Kreises elektrischer Maschinen und Prüfmittel, beispielsweise auch ein Riemen-

Dr.-Ing. et Dr. sc. phil. *Peter Schubert*, Technische Universität Dresden; Dr.-Ing. *Georg Kochan*, VEB Elektromaschinenbau Dresden.

Bild 1. *Emil Gottfried Fischinger* (1860 bis 1931)

dynamometer zur Drehmomentbestimmung. Frühzeitig war er am Einsatz von Kohlebürsten beteiligt. Verbreitete Anwendung fand damals die Bogenlampe von *Fischinger*, die von der Firma Pöge hergestellt worden ist.

Am 1. April 1887 trat *Fischinger* als Betriebsingenieur in die Dienste der Firma O. L. Kummer & Co. in Dresden, deren Gründung auf 1875 zurückging, um die reizvolle Aufgabe des Fabrikneubaus in Niedersedlitz in Angriff zu nehmen. Mit der Umwandlung des Unternehmens in eine Aktiengesellschaft (1894) wurde er deren Direktor. Nach dem Eintritt *Fischingers* vergrößerte sich der Kummersche Betrieb in 7 Jahren von 12 auf 500 Arbeiter. Seine angestrengte und vielseitige Tätigkeit brachte der Firma den raschen Aufstieg und ihm selbst schöne Erfolge. Zu seinem Aufgabengebiet gehörten u.a. der Bau von Schiffs-Dampfdynamos, der Straßenbahnlinie Blasewitz — Laubegast (1893) und der Überlandzentrale Niederlößnitz (1894). Erhalten geblieben ist eine von ihm konstruierte Gleichstromnebenschlußmaschine (Bild 3). Der Typ war überwiegend als Beleuchtungsgenerator, aber auch als Motor eingesetzt und von 1888 bis Anfang der 90er Jahre in Produktion.

Gewagte auswärtige Unternehmungen des Vorstandes und Aufsichtsrates veranlaßten *Fischinger*, im Jahre 1899 aus der Kummerschen Aktiengesellschaft auszutreten. Er gründete ein Ingenieurbüro und konnte so sein reiches Wissen und hohes fachliches Können bis 1930 in den Dienst der Allgemeinheit stellen. Am Bau der ersten europäischen 56 km langen 100-kV-Übertragungsanlage (1911 und 1912) von Lauchhammer nach Gröba bei Riesa, einer technischen Pionierleistung, hatte *Fischinger* besonderen Anteil. Für die Vielseitigkeit *Fischingers*, die er mit den Ingenieuren seiner Zeit teilte, spricht, daß er 1917 Al/St-Seile für Hochspannungs-Freileitungen entwickelte.

Wegen eines Gehörleidens mußte *Fischinger* Berufungen auf verantwortungsvolle Positionen der Industrie und als Hochschullehrer wiederholt ablehnen. Im Dezember 1918 fand er die wohlverdiente Anerkennung durch die Verleihung der Würde eines Dr.-Ing. e.h. seitens der Technischen Hochschule Karlsruhe, übrigens damals eine Hochburg des wissenschaftlichen Elektromaschinenbaus. Fachkollegen rühmen ihn als bescheidenen, hilfsbereiten und edelmütigen Mann. *Fischinger* starb am 28. März 1931 in Dresden [2] [3]. Seine letzte Ruhestätte fand er auf dem Waldfriedhof Dresden-Weißer Hirsch.

2. Dr. Max Corsepius (1865 bis 1910)

Max Corsepius (Bild 4) wurde 1865 im ehemaligen preußischen Königsberg als Sohn eines angesehenen Kaufmanns geboren. Nach dem Besuch des Wilhelmsgymnasiums seiner Vaterstadt studierte er in Königsberg, Berlin und München, wo er auch 1886 promovierte. Von 1886 bis 1889 war *Corsepius* bei Prof. *Adolf Slaby* (1849 bis 1913) an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg als Assistent mit verschiedenen selbständigen elektrotechnischen Arbeiten betraut. Danach trat er als Ingenieur bei der Berliner Elektrofirma Gebrüder Naglo ein. Von 1891 bis 1901 war *Corsepius* als Oberingenieur und Prokurist bei der A.-G. Elektrizitätswerke, vor-

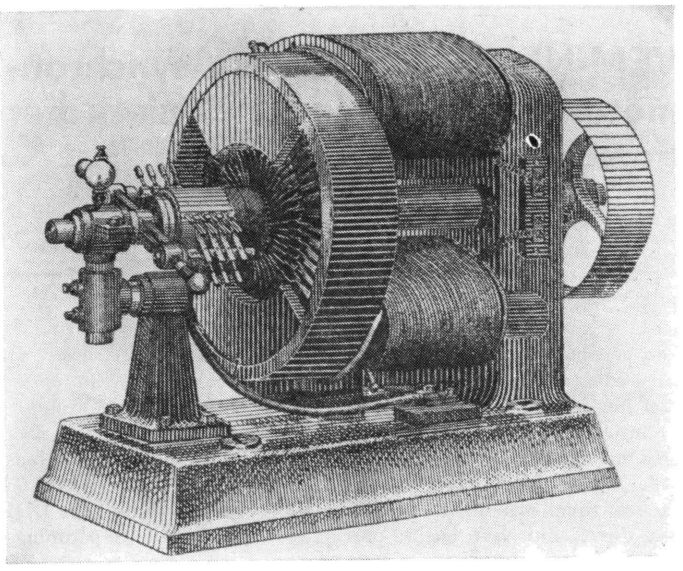


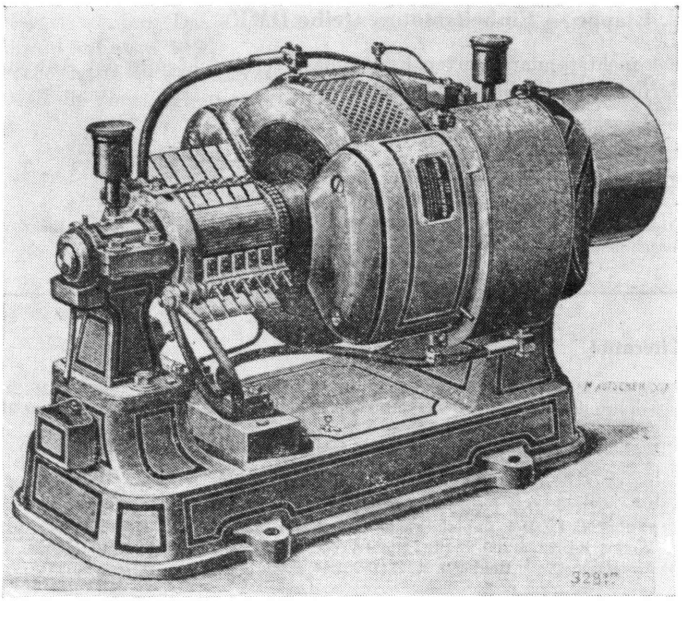
Bild 2. Dynamomaschine (Konstrukteur *E. G. Fischinger*; Baujahr 1883; *Hermann Pöge*, Chemnitz)

mals O. L. Kummer & Co., in Dresden tätig. In dieser Stellung las er vertretungsweise an der Technischen Hochschule Dresden über Konstruktion von Dynamomaschinen und elektrischen Bahnen und leitete die dortige Sammlung Elektromaschinen. Die Hochschule schätzte seine Lehrtätigkeit außerordentlich und erwog sogar, ihn als Ordinarius für Elektrotechnik zu berufen.

Dr. *Corsepius* war als Fachschriftsteller ein international geschätzter Partner, wobei die Mehrzahl seiner Publikationen in der Elektrotechnischen Zeitschrift (ETZ) Aufnahme fanden. Zunächst widmete er sich Anfang der 90er Jahre des vergangenen Jahrhunderts der hochaktuellen Frage der Magnetkreisberechnung. Davon zeugen „Die Kraftäußerung des Magnetismus", „Theoretische und praktische Untersuchungen zur Konstruktion magnetelektrischer Maschinen", „Der Energieverlust durch Hysteresis im Anker von Dynamomaschinen", „Der magnetische Kreislauf", „Leitfaden zur Konstruktion von Dynamomaschinen und zur Berechnung elektrischer Leitungen", „Grundlagen für die Berechnung und den Bau von elektrischen Bahnen und deren praktische Nutzung", „Die Beurteilung der Eigenschaften von Dynamomaschinen auf Grund der Nutenanordnung", „Streuung von Dynamomaschinen", „Die elektrischen Bahnen" und andere. Das Gebiet der Magnetkreisberechnung war auch jene Domäne, die *Corsepius* zum wissenschaftlichen Meinungsstreit mit dem Chefelektriker der General Electric, *Charles Proteus (Karl August) Steinmetz* (1856 bis 1923), einem ehemaligen deutschen Emigranten, herausforderte. *Steinmetz* war in den USA fast so populär wie *Thomas Alva Edison* (1847 bis 1931), und die General Electric ehrt beide, indem sie ihre Betriebsgeschichte in eine Edison-Ära und in eine Steinmetz-Ära einteilt. Kurz nach der Jahrhundertwende veröffentlichte *Corsepius* Aufsätze zur Wechselstromtechnik (z. B. „Mit Last angehender kollektorloser Einphasen-Wechselstrommotor").

Im Jahre 1902 folgte er einem Ruf an die gewerbliche Fachschule (später Kgl. Maschinenbauschule) der Stadt Köln, wo er zum Oberlehrer ernannt wurde. Er war Mitbegründer des Verbandes Deutscher Elektrotechniker und gehörte dem Vorstand der Elektrotechnischen Gesellschaft zu Köln an. *Corsepius* starb am 12. Oktober 1910 in Köln [4].

Bild 3. Gleichstromnebenschlußmaschine. Anker mit Ringwicklung, Selbsterregung nach *Wheatstone*, Kohlebürsten
(Konstrukteur *E. G. Fischinger*; Baujahr ab 1888; O. L. Kummer & Co., Dresden)



3. Prof. Julius Heubach (1870 bis 1923)

Julius Heubach (Bild 5) wurde am 5. Februar 1870 in Münnerstadt/Unterfranken als Sohn eines Notars geboren. Nach Besuch des Gymnasiums studierte er ab 1888 an der Technischen Hochschule München. Im letzten Studienjahr arbeitete *Heubach* als Praktikant an der elektrotechnischen Versuchsstation in München. In dieser Zeit entstand bereits seine erste größere wissenschaftliche Arbeit über „Arbeitsverbrauch und Phasenverschiebung im Wechselstrombogen."

1892 ging *Julius Heubach* zu Schuekert & Co. nach Nürnberg, wo er Schaltanlagen, Apparate und Meßinstrumente konstruierte sowie kleinere Motoren berechnete. Er richtete das Versuchslabor des Konstruktionsbüros ein, das er bald leitete. Danach wurde er mit der Betriebsführung der Budapester Zentrale, der ersten Schuckertschen Hochspannungsanlage mit Mehrphasensystem, betraut.

Im Jahre 1894 trat *Heubach* in die Firma Kummer & Co. ein. Hier projektierte er Zentralen, konstruierte Apparate, Oberleitungssysteme und Wagen für Straßenbahnen. Kurze Zeit später, d. h. im Jahre 1895, ging er zur Firma Pöschmann und Co., wo ihm als einzigem Ingenieur die Berechnung und Konstruktion sämtlicher Erzeugnisse, außerdem die Leitung der Fabrik, oblagen. Der relativ große Wirkungskreis des nunmehrigen Prokuristen der Firma gab ihm Gelegenheit, seine technischen Ideen zu verwirklichen, z. B. jene Motorkonstruktionen, die unter dem Namen „System Heubach" in den Handel kamen.

1899 wurde *Heubach* Oberingenieur bei der E. A. G. Helios in Köln. Er arbeitete zuerst in der Abteilung für elektrische Antriebe, zeichnete aber danach für die Berechnung und Konstruktion von Gleichstrommaschinen verantwortlich. Nach dem Austritt des Direktors *Coerper* übernahm er die gesamte Berechnung und Konstruktion, auch die der Wechsel- und Drehstrommaschinen sowie das Prüffeld und Labor.

Im Jahre 1903 trat *J. Heubach* als Chefingenieur, später Direktor, zum Sachsenwerk Niedersedlitz über. Das scheinbar unstete Arbei-

Bild 4. *Max Corsepius*
(1865 bis 1910)

Bild 5. *Julius Heubach* (1870 bis 1923)

ten *Heubachs* muß in engem Zusammenhang mit der Weltwirtschaftskrise gesehen werden, die um die Jahrhundertwende zu einem horizontalen Konzentrationsprozeß in der Elektrotechnik führte, der auch das Kummersche Unternehmen stark berührte. Sehr treffend hat *Lenin* die wichtigsten Etappen der Geschichte der Monopole zusammengefaßt: „1. In den sechziger und siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts — die höchste, äußerste Entwicklungsstufe der freien Konkurrenz; kaum merkliche Ansätze zu Monopolen. 2. Nach der Krise von 1873 weitgehende Entwicklung von Kartellen, die aber noch Ausnahmen, keine dauernden, sondern vorübergehende Erscheinungen sind. 3. Aufschwung am Ende des 19. Jahrhunderts und Krise von 1900 bis 1903: Die Kartelle werden zu einer der Grundlagen des gesamten Wirtschaftslebens. Der Kapitalismus ist zum Imperialismus geworden." [5]

1905 übernahm *Heubach* die Geschäftsleitung der Elektromotorenwerke Heidenau G. m. b. H., die er bis zu seinem Lebensende innehatte.

Heubach ist Autor eines der ersten und besten Lehr- und Fachbücher über Drehstrommaschinen in Deutschland. „Der Drehstrommotor" erschien schon 1903, d. h. kaum später als 10 Jahre nach Erfindung des Drehstromasynchronmotors. Das Buch stand, die theoretische Seite betreffend, ganz auf der Höhe der Zeit. Ausführlich wird das damals aktuelle Problem der Ortskurvendarstellung bei Asynchronmaschinen besprochen. Mit den Monographien „Der Wechselstrom-Serien-Motor" und die „Theorie der kompensierten Asynchronmaschine" legte *Heubach* ein beredtes Zeugnis seiner profunden Kenntnisse auf dem Gebiet der damals noch jungen Wechsel- bzw. Drehstromtechnik ab.

Eine besondere Auszeichnung wurde *Julius Heubach* im Jahre 1911 durch Verleihung des Titels „Professor" vom sächsischen König zuteil. In den Jahren 1917 bis 1919 hielt er in Vertretung von Prof. *Wilhelm Kübler* (1873 bis 1919) Vorlesungen über Elektromaschinenbau an der Technischen Hochschule Dresden.

Als er Anfang der 20er Jahre an der 2. Auflage seines Buches „Der Drehstrommotor" arbeitete, gab es schon Anzeichen völliger Überlastung und nervlicher Störungen. Das den damals neuesten Stand der Drehstromtechnik repräsentierende Fachbuch erschien 1923. Am 29. September des gleichen Jahres verstarb *Heubach* in Heidenau.

Er war ein vielseitig begabter Mann und beschäftigte sich gern in seiner Freizeit mit mathematischer und beobachtender Astronomie, Optik und Instrumentenkunde. Über alles liebte er die Musik. *Heubach* spielte nicht nur Klavier und Orgel, sondern pflegte sogar das Studium der Kompositionslehre.

Ein Jahrhundert industrieller Elektromaschinenbau bedeutet Tradition, die vom Wissen, vom Fleiß und der Geschicklichkeit der Arbeiter und Ingenieure zeugt. Eine wertvolle geschichtliche Erfahrung ist der Nutzen, der sich aus der Verflechtung von Wissenschaft und Produktion ergibt. Dieser Tradition fühlt sich der Elektromaschinenbau der DDR besonders verpflichtet.

VEM-Niederspannungs-Asynchronmotoren — Zeugnis kontinuierlicher Forschung und Entwicklung

R. Möckel, KDT, Dresden

Die enorme Entwicklung in der Investitionsgüterproduktion der zurückliegenden vier Jahrzehnte hat einen erheblichen Einfluß auf den Fertigungsumfang von elektromechanischen Energiewandlern im internationalen Maßstab genommen.

In den Industrieländern stiegen in diesem Zeitraum die Produktionsstückzahlen an rotierenden elektrischen Maschinen auf ein Vielfaches. Einen erheblichen Anteil an diesem Wachstum in der DDR hat die technisch robuste, preisgünstige VEM-Niederspannungs-Asynchronmaschine.

Im Leistungsbereich von 0,12 bis 200 kW ist der Niederspannungs-Asynchronmotor als elektromechanisches Antriebselement im internationalen Maßstab nahezu ein „Normteil". Aufgrund seines robusten Aufbaus, seiner universellen Einsetzbarkeit und der Erfüllung von Automatisierungsbedingungen der Antriebstechnik bildet dieses Element in den entwickelten Industrieländern den Hauptanteil der elektromechanischen Energiewandler. Ob in der Industrie, in der Landwirtschaft oder in der Kommunalwirtschaft, überall werden zur Lösung von Antriebsproblemen die zuverlässigen und wartungsarmen Asynchronmotoren eingesetzt, in zunehmendem Maße auch für gesteuerte und geregelte Antriebe im Zusammenwirken mit Frequenzumrichtern.

Nachstehender Überblick zeigt, wie der Elektromaschinenbau der DDR durch permanente Entwicklung auf dem Gebiet der Niederspannungs-Asynchronmotoren kontinuierlich an der Bewältigung der hohen volkswirtschaftlichen Zielstellung gearbeitet hat, unter Berücksichtigung der Erfordernisse der Anwender in den verschiedenen Wirtschaftszweigen.

1. Etappe — Ausgangsbasis

Als in den Nachkriegsjahren unsere Elektromotorenwerke die Produktion wieder aufnahmen, mußte zur Deckung des dringendsten Bedarfs in einzelnen Betrieben nach vorhandenen Konstruktionsunterlagen produziert werden.

Für einen 3-kW-Motor der Schutzart P 33 wurden damals von den Werken Thurm, Wernigerode (Bild 1) und Rafena insgesamt vier leistungsgleiche Typen mit unterschiedlichen Achshöhen hergestellt. In Tafel 1 sind davon zwei aufgeführt.

Jeder Elektromotorenbetrieb lieferte zum Nachteil der Verbraucher nichtstandardisierte Erzeugnisse. Die große Anzahl von Typen führte zu relativ kleinen Losgrößen in den jeweiligen Betrieben.

2. Etappe — Einheitsmotorenreihe DMK

Die nichtstandardisierten Erzeugnisse verursachten in der Anwenderindustrie Probleme hinsichtlich

— Lagerhaltung
— Instandhaltung
— Austauschbarkeit.

Dipl.-Ing. *Rudolf Möckel* ist Hauptabteilungsleiter im VEB Kombinat Elektromaschinenbau Dresden.

Literatur

[1] *Böhme, H.-J.:* Zur Erbe- und Traditionspflege an den Universitäten und Hochschulen der Deutschen Demokratischen Republik. Wiss. Z. d. TH Magdeburg 31 (1987) 1
[2] Nachruf: Dr.-Ing. e. h. *Emil Gottfried Fischinger.* Verbandsmitteilungen (1931) 8, S. 67
[3] Nachruf: *E. G. Fischinger.* ETZ (1931) 15, S. 494
[4] Nachruf: Dr. *Max Corsepius.* ETZ (1910) 25, S. 646–647
[5] *Lenin, W. I.:* Der Imperialismus als höchstes Stadium des Kapitalismus. In: Werke, Bd. 22, S. 200. Berlin: Dietz-Verlag 1960
[6] *Feldmann, C.:* J. Heubach. ETZ (1923) 44, S. 990

EA 5915

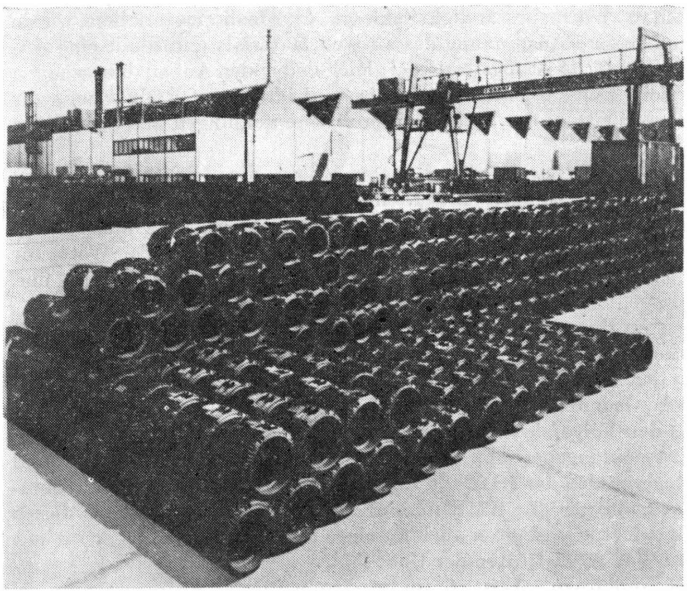


Bild 1. Teilansicht VEB Elektromotorenwerk Wernigerode

Speziell durch die mangelnde Austauschbarkeit waren bei Einsatz von Motoren der verschiedenen Hersteller an Finalerzeugnissen ständig Änderungen erforderlich.
Durch die Fortschritte auf dem Gebiet der Drahtlacke — die zusätzliche Baumwollisolierung der Wickeldrähte konnte entfallen — waren günstigere Bedingungen für die elektromagnetische Auslegung der Niederspannungs-Asynchronmotoren gegeben.
Aufgrund dieser Fakten erhielt das Wissenschaftlich-Technische Büro des Elektromaschinenbaus Dresden im Jahr 1954 den Auftrag, eine Einheitsmotorenreihe im Leistungsbereich 0,25 bis 10 kW zu entwickeln. In enger Zusammenarbeit mit den späteren Produktionsbetrieben VEB Elektromotorenwerk Thurm, VEB Elektromotorenwerk Wernigerode und dem damaligen VEB Sachsenwerk Dresden entstand die Motorenreihe DMK und wurde in den Jahren 1956/57 in die Produktion übergeleitet.
Hauptmerkmale dieser Einheitsreihe waren:

1. Genormte Leistungswerte für 2-, 4-, 6- und 8polige Motoren
2. Gleiche Leistungswerte bei Schutzart P 22 und P 33 für den Leistungsbereich 3,5 bis 10 kW
3. Gleiche Leistungswerte und Anbauabmessungen für Motoren mit Kupfer- und Aluminiumständerwicklung
4. Gleiche Leistungswerte für Gehäuseausführung in Grauguß und Leichtmetall-Druckguß
5. Einsatz von Aluminium- und Kupfer-Wickeldrähten mit Isoperlon-Isolation aus einer Gemeinschaftsentwicklung der Drahtlack- und Motorenhersteller.

Mit der Einführung dieser Motorenreihe konnte dem Typenwirrwarr und den damit verbundenen Nachteilen für die Anwender ein Ende gesetzt werden. Das Ergebnis war eine Reduzierung der Typenanzahl auf etwa 50 %.
Ferner hatte die Standardisierung in den Elektromotorenwerken der DDR die Voraussetzungen für den Übergang zur Serienfertigung mit moderneren Bearbeitungsverfahren geschaffen. So wurden mit der Einführung dieser Motorenreihe in den Elektromotorenwerken der DDR automatisierte Fertigungsstraßen eingerichtet, der Übergang vom Komplettschnitt- auf das Folgeschnittverfahren bei der Herstellung von Ständer- und Läuferblechen organisiert sowie das maschinelle Bewickeln der Statoren von 4poligen Motoren auf Ständerwickelautomaten vorgenommen. Die Ständerwickelautomaten wurden parallel zu den Einheitsmotoren im Elektromaschinenbau der DDR entwickelt.

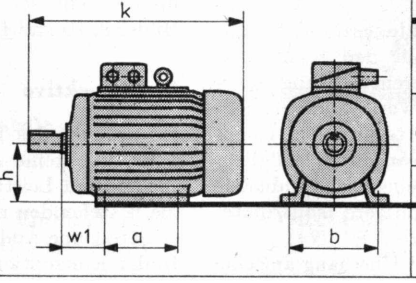
3. Etappe — Standardmotorenreihe KR/KD

Im Jahr 1956 erschien die erste Ausgabe der IEC-Publikation 72, eine Empfehlung für Abmessungen und Ausgangsleistungen elektrischer Maschinen. Allerdings beschränkte sich diese IEC-Empfehlung darauf,

— die Anbauabmessungen
— die Abmessungen von Wellenenden
— die Ausgangsleistungen

jeweils getrennt voneinander festzulegen. Die Merkmale des IEC-Motors bestehen noch heute lediglich darin, daß er einen IEC-Leistungswert, einen Wellenstumpf mit IEC-Abmessungen und Anbaumaße nach IEC hat. Die notwendige Koordinierung dieser drei Merkmale ist den nationalen Normungsgremien überlassen. Diese IEC-Publikation 72 war die Basis für die erste Diskussion im RGW-Maßstab zu Fragen der Standardisierung der Zuordnung der Leistungswerte zu den Anbauabmessungen.
Anfang des Jahres 1960 wurde von allen RGW-Ländern eine diesbezügliche Standardisierungsempfehlung für Niederspannungs-Asynchronmotoren im Leistungsbereich 0,6 bis 100 kW angenommen. Auf der Basis dieser RGW-Standardisierungsempfehlung wurden in der DDR die Entwicklungsarbeiten in enger, vom Einheitsmotor her bewährter Zusammenarbeit des Entwicklungsbetriebes mit den Produktionsbetrieben durchgeführt. Die Standardmotorenreihe KR — 0,25 bis 100 kW in Graugußgehäuse — wurde ab 1962 achshöhenweise in die Produktion der Elektromotorenwerke Thurm und Wernigerode übergeleitet. Nach Vorliegen der Produktionsergebnisse der ersten Typen dieser Motorenreihe erteilte das damalige Deutsche Amt für Meßwesen und Warenprüfung — heute Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung — Ende 1963 das Gütezeichen „Q" für diese Motorenreihe (Bilder 2 und 3).
Parallel zu den Motoren in Graugußausführung wurde die Motorenreihe KD mit Druckgußgehäuse im Leistungsbereich 0,25 bis 4 kW entwickelt und ab 1964 im Sachsenwerk Dresden produziert.
Die Motoren dieser KR/KD-Reihe zeichneten sich gegenüber den Einheitsmotoren durch kleinere Abmessungen, eine geringere Masse und eine feinere Leistungsstufung speziell im Bereich 0,6 bis 10 kW aus. Auch bei dieser Motorenreihe wurden gleiche Leistungswerte und Anbauabmessungen für Motoren mit Kupfer- und Aluminiumständerwicklung realisiert.
Mit den Reihen KR/KD waren nunmehr die Voraussetzungen für die Austauschbarkeit von Motoren der einzelnen Mitgliedsländer des RGW geschaffen. Damit ergab sich ein entscheidender Schritt in Richtung der Integration der sozialistischen Länder auf dem Elektromotorensektor.
Die Abmessungen und Massen als wichtige Merkmale für den Anwender konnten für einen leistungsgleichen Standardmotor gegenüber einem Motor der Einheitsreihe wesentlich verringert werden. Erzielt wurde dieses Ergebnis durch:

Maße in mm



Maßbezeichnung nach DIN			h	b	a	w1	k
Maßbezeichnung nach IEC			H	A	B	C	L
Jahr	Motortyp	$\frac{P2}{kW}$	Achshöhe				
nach 1945	RM 1811/4	3,0	125	214	110	120,5	426
	LK 32/4	3,0	140	220	140	115	435
ab 1956	DMK 3.2-4R	2,5	125	200	160	130	421
	DMK 4.4 RC	3,5	150	236		160	439
ab 1962	KR 112.1/4	3,0	112	190	114	70	362
ab 1970	KMR 100S4	3,0	100	160	112	63	359
	KMER 100LX4	3,0			140		

Tafel 1

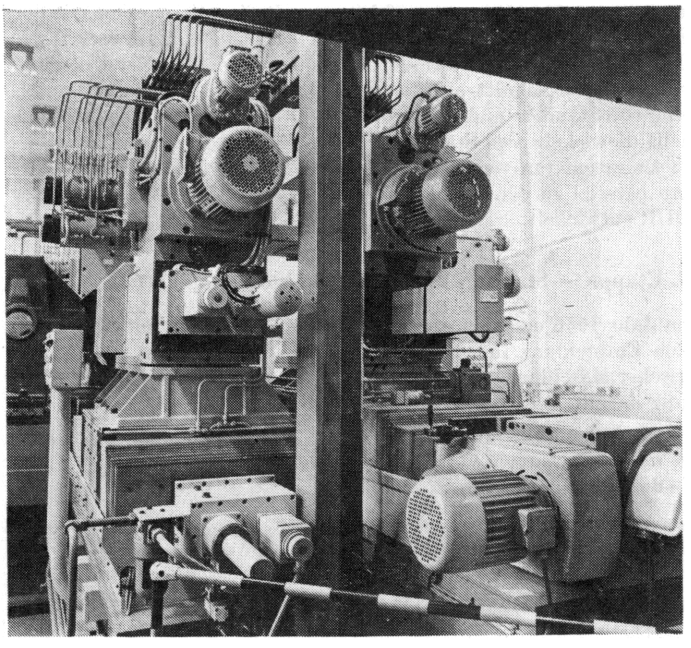


Bild 2. Werkzeugmaschine mit VEM-Drehstrom-Asynchronmotoren der KR-Reihe

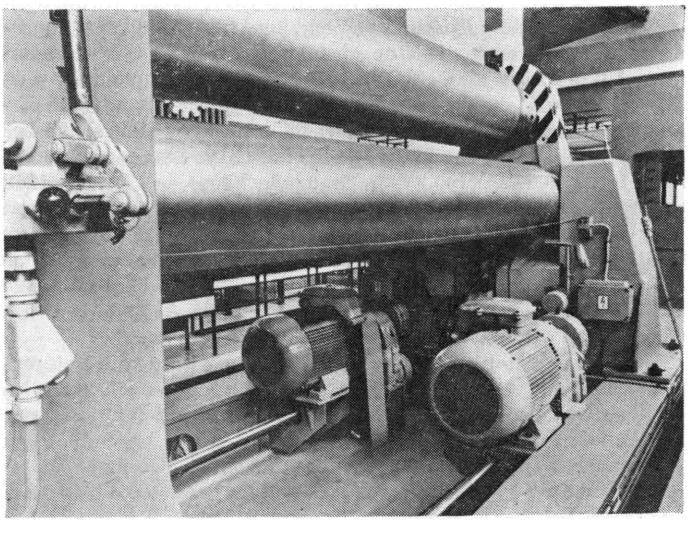


Bild 3. Dreiwalzen-Blechbiege-Maschine mit VEM-Drehstrom-Asynchronmotoren der KR-Reihe

— Auswertung der gesammelten Erfahrungen bei der Produktion der Einheitsmotoren hinsichtlich technologischer, mechanischer und elektrischer Kenndaten und Berücksichtigung dieser Kenntnisse bei der konstruktiven und elektrischen Auslegung.

— Erstmalige elektrische Optimierungsberechnung unter Berücksichtigung des inneren Wärmeflusses mit Hilfe eines Wärmequellennetzes für geschlossene Asynchronmotoren in oberflächenbelüfteter Ausführung.

Mit der Produktionsaufnahme der KR/KD-Standardmotorenreihe verfügte der Elektromaschinenbau der DDR über Asynchronmotoren, die in ihren technischen und technologischen Kennwerten dem internationalen Stand entsprachen.

4. Etappe — Standardmotorenreihe KMR/KMER

Der in den Folgejahren erreichte höhere Entwicklungsstand von Erzeugnissen der Zulieferindustrie schuf auch für den Elektromaschinenbau die Voraussetzungen für eine Weiterentwicklung seiner Erzeugnisse. Von der metallurgischen Industrie wurde Semifinished-Dynamoband mit den bekannten verbesserten technischen Kennziffern bei gleichzeitiger Rationalisierung der Bearbeitungsmöglichkeiten gegenüber Dynamoblech angeboten. Die chemische Industrie lieferte verbesserte, das heißt temperaturbeständigere Isoliermaterialien.

Mit Einsatz von Semifinished-Dynamoband und Übergang auf eine höhere Wärmebeständigkeitsklasse der Isoliermaterialien wurde eine bessere Ausnutzung des aktiven Materials und somit eine Anhebung der Leistungswerte bei gleichbleibenden Anbauabmessungen erzielt. Der erreichte Erkenntnisstand führte auf RGW-Ebene zur Überarbeitung der Standardisierungsempfehlungen aus dem Jahre 1960.

Basis für diese Verhandlungen waren die IEC-Publikationen: 72-1 „Abmessungen und Nennabgabeleistung fußmontierter Motoren"; 72-2 „Abmessungen und Nennabgabeleistung flanschmontierter Motoren" mit den wichtigsten Empfehlungen der Werte für die Normabgabeleistung, für die Anbauabmessungen von Fuß- und Flanschmotoren und für die Abmessungen der Wellenenden.

Das im Rahmen des RGW durch sozialistische Gemeinschaftsarbeit entstandene neue Standardisierungsprojekt der Leistungszuordnung zu den Anbauabmessungen wurde 1968 bestätigt und somit verbindliche Grundlage für die nationale Standardisierung in der DDR.

In den Folgejahren wurden in enger Gemeinschaftsarbeit zwischen Entwicklungsbetrieb, Produktionsbetrieb sowie Instituten und Hochschulen der DDR die Entwicklungsarbeiten für die neue Standardmotorenreihe KMR durchgeführt. Erstmals kam es bei diesen Entwicklungsarbeiten auch zu einer direkten Zusammenarbeit mit den Partnerinstituten der UdSSR.

Die progressive Leistungszuordnung wurde außer den bereits erwähnten Fakten möglich durch

— einen hohen Grad an wissenschaftlicher Durchdringung der physikalischen Funktionsprinzipien, besonders der rechentechnischen Vorausbestimmung und Optimierung wichtiger Teilsysteme

— eine maximale Ausnutzung des Konstruktionsraumes, den die Anbauabmessungen nach IEC zulassen

— die Anwendung hochproduktiver und hocheffektiver Fertigungsverfahren im Rahmen automatisierter Fertigungslinien, die eine gleichbleibend hohe Qualität in der Fertigung garantieren

— eine Optimierung des äußeren Belüftungskreises

— Auslegung der Motoren nur noch für Cu-Wicklung.

Im Ergebnis der Entwicklungsarbeiten entstanden Motoren mit weltstandsbestimmenden Gebrauchseigenschaften bei gleichzeitiger Verringerung des Volumens je Leistung um 25 % (Bild 4). Durch außerdem verringerte Trägheitsmomente konnte die Dynamik wesentlich verbessert werden (Bild 5).

Die neue Motorenreihe KMR wurde erstmals auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1970 vorgestellt und aufgrund ihres hervorragenden wissenschaftlich-technischen Niveaus mit der Goldmedaille ausgezeichnet.

In den Folgejahren wurden alle Typen der neuen Motorenreihe im Leistungsbereich von 0,12 bis 132 kW einschließlich einer Vielzahl von elektrischen und konstruktiven Modifikationen in die Produktion übergeleitet. Aufgrund der technischen und technologischen Qualitätsmerkmale tragen diese Motoren das Gütezeichen „Q". Die kontinuierliche und progressive Entwicklungsarbeit des DDR-Elektromaschinenbaues ist für das Beispiel eines 10-kW-Motors auf den Bildern 6 und 7 ablesbar.

Einen wesentlichen Bestandteil der Produktion dieser Standardmotorenreihe stellt die Modifikation KMER — d. h. die Ausführung nach CENELEC — dar. So wie sich die Länder des RGW über eine Zuordnung der Leistungen zu den Anbauabmessungen im Jahr 1960 geeinigt haben, gilt seit 1964 eine entsprechende Norm nach einem Beschluß des „Europäischen Komitees für die Koordinierung der Normen der Elektrotechnik". Diese Norm ordnet den Anbauabmessungen jedoch um ein bis zwei Stufen geringere Abgabeleistungen zu (Tafel 2). Die Reihen KMR und KMER stimmen in der elektromagnetischen Auslegung völlig überein. Sie unterscheiden sich lediglich durch die Anbauabmessungen, wie die Tafeln 1 und 2 sowie Bild 8 zeigen.

Seit Produktionseinführung der KMR/KMER-Motoren wurde eine ständige Weiterentwicklung von Details an dieser Motorenreihe durchgeführt und die Modifikationsbreite wesentlich erweitert. An dieser Stelle sei auf die ausführliche Darlegung in [1] sowie die Bilder 9, 10 und 11 verwiesen.

5. Perspektive

Im Rahmen des Technischen Komitees TC 2 der IEC sind bis zum Jahr 1995 keine Aktivitäten zur Überarbeitung der Anbauabmessungen und Leistungsreihen geplant. Somit werden auch bis dahin die bestehenden nationalen Normen bzw. Normen für Wirtschaftsgebiete keine Änderung erfahren.

In der Konzeption des Niederspannungs-Asynchronmotors ergeben

Bild 4. Entwicklung des Leistungsvolumens für 4polige Motoren in P 33/IP 44

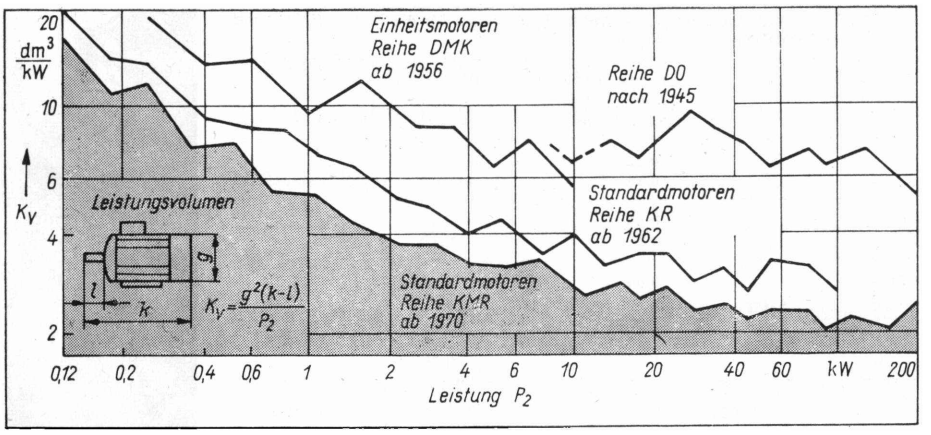
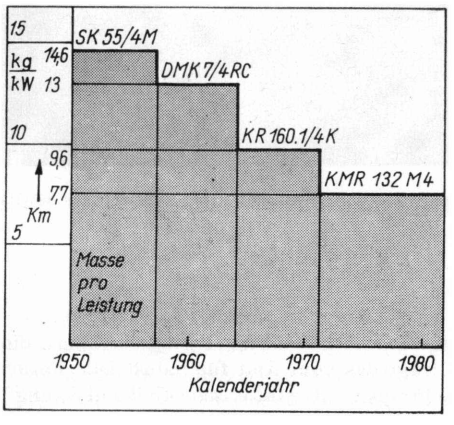
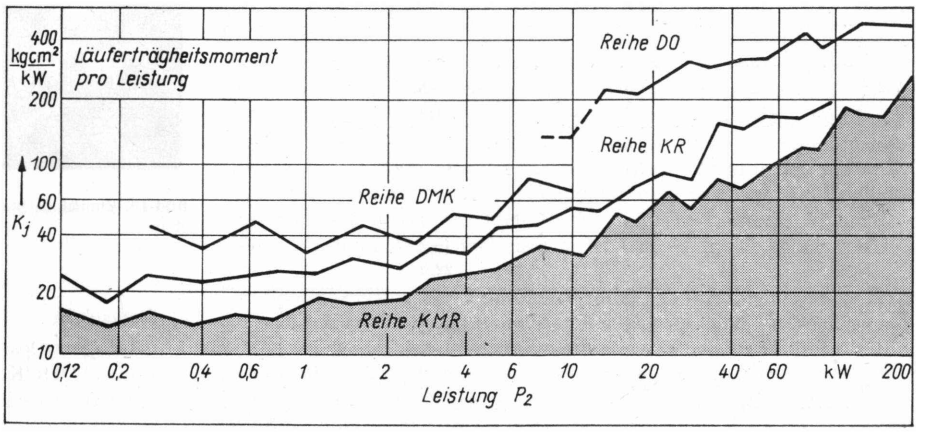


Bild 5. Entwicklung des Läuferträgheitsmomentes für 4polige Motoren in P 33/IP 44, bezogen auf die Motorleistung

Bild 6. Entwicklung des Masse-Leistungs-Verhältnisses bei 4poligen Motoren in P 33/IP 44, Grauguß-Ausführung, am Beispiel eines Vertreters mit etwa 10 kW





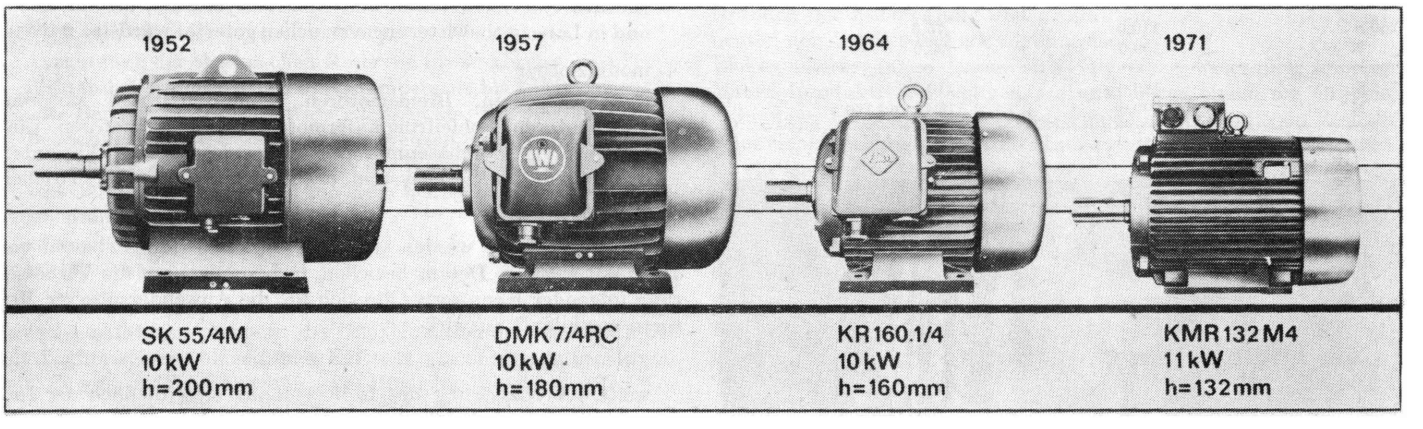
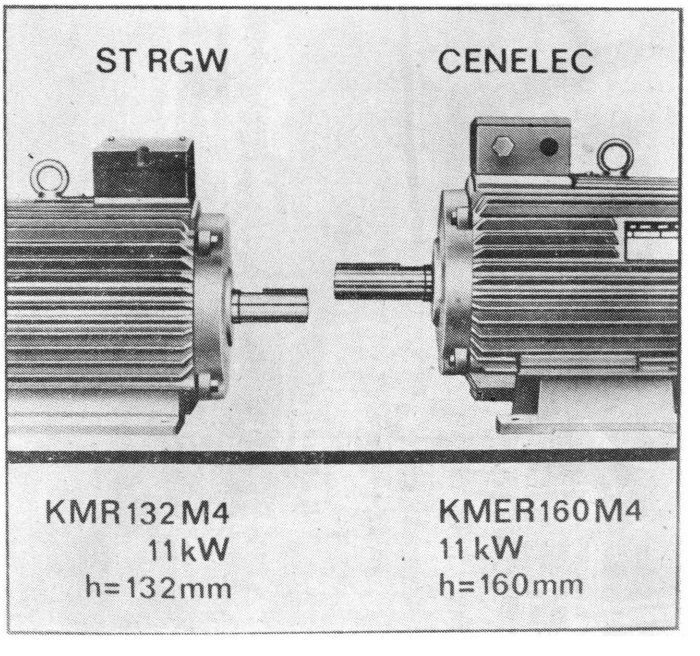


Bild 7. Vier Generationen Niederspannungs-Asynchronmotoren

Bild 8. VEM-Niederspannungs-Asynchronmotoren nach ST RGW und CENELEC



sich deshalb in absehbarer Zeit auch keine prinzipiellen Veränderungen. Dafür spricht auch die Tatsache, daß Weiterentwicklungen von Werkstoffen, wie Dynamoblech und Wickeldraht, die wesentliche Reduzierungen der Abmessungen ermöglichen könnten, nicht zu erwarten sind.

Der Elektromaschinenbau der DDR geht davon aus, die bewährten guten Eigenschaften der VEM-Niederspannungs-Asynchronmotoren beizubehalten und zu erweitern:

— robust
mechanisch stabile Graugußgehäuse und -lagerschilde, stoßfest, nachgewiesen durch Stoß- und Rüttelversuche

— hochdynamisch
hohe Momente und kleine Läuferträgheitsmomente sichern hervorragende Dynamik

— platzsparend
kleines Volumen und geringe Masse sparen bei Ein- und Anbau Raum und damit Aufwand, speziell in der Grundausführung KMR, geringes äußeres Volumen je Leistung

Tafel 2. Zuordnung von Leistung zu Anbauabmessungen für die Reihen KMR nach ST RGW und KMER nach CENELEC

Baugröße (entspricht Achshöhe in mm)	Leistung P_2 in kW für 4polige Motoren Reihe KMR nach ST RGW	Reihe KMER nach CENELEC
56 K	0,12	
G	0,18	
63 K	0,25	0,12
G	0,37	0,18
71 K	0,55	0,25
G	0,75	0,37
80 K	1,1	0,55
G	1,5	0,75
90 S	–	1,1
L	2,2	1,5
100 S	3,0	–
L	4,0	2,2 und 3,0
112 M	5,5	4,0
132 S	7,5	5,5
M	11,0	7,5
160 S	15,0	–
M	18,5	11,0
L	–	15,0
180 S	22,0	–
M	30,0	18,5
L	–	22,0
200 M	37,0	–
L	45,0	30,0
225 S	–	37,0
M	55,0	45,0
250 S	75,0	–
M	90,0	55,0
280 S	110,0	75,0
M	132,0	90,0
315 S	160,0	110,0
M	200,0	132,0 und 160

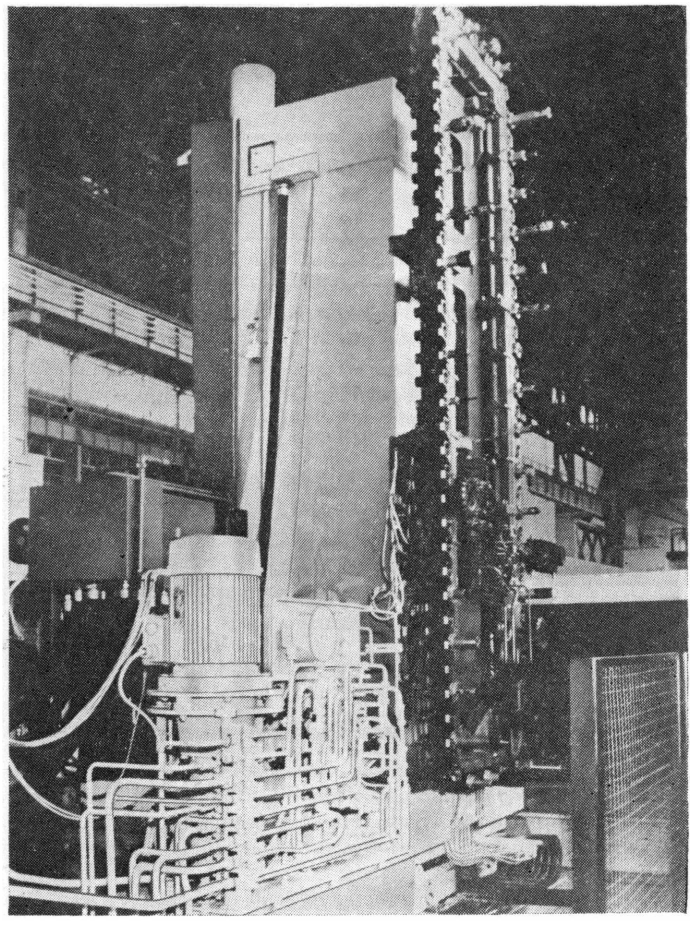


Bild 9. Flexibles Fertigungssystem zur Bearbeitung prismatischer Großteile mit VEM-Drehstrom-Asynchronmotoren der KMR-Reihe

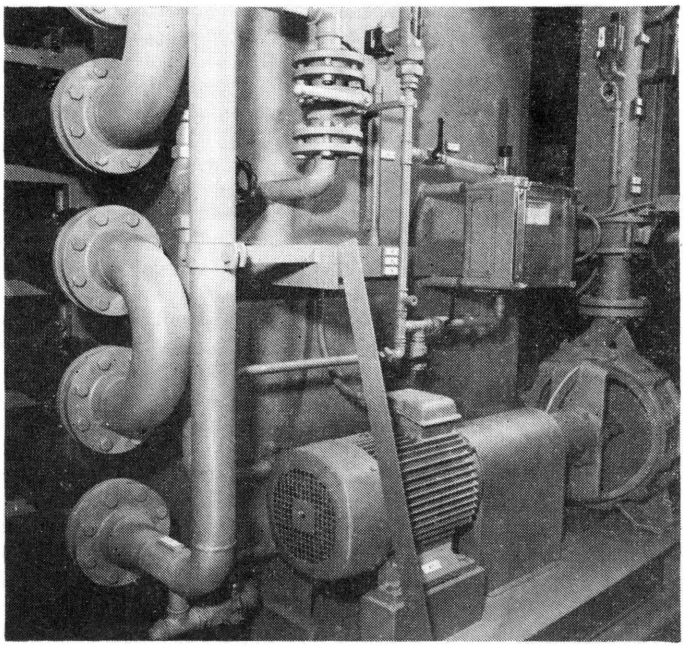


Bild 10. Emulsionstränkanlage mit VEM-Drehstrom-Asynchronmotor der KMR-Reihe

— formschön

gefälliges Design durch zweckdienliche Formgestaltung; die Reihe KMR/KMER trägt das vom Amt für industrielle Formgestaltung verliehene Prädikat „Gestalterische Spitzenleistung"

— korrosionsbeständig

Einsatz von Werkstoffen und Anstrichsystemen, die im Labor und in Langzeitbewitterungsversuchen getestet wurden

— modifizierbar

Getriebemotoren, Bremsmotoren, polumschaltbare Motoren, EEx-Motoren, Schleifringläufermotoren, Molkereimotoren, Einbaumotoren, Einphasenmotoren sowie viele weitere Varianten nach einem Baukastensystem, das in [1] ausführlich beschrieben ist.

In der Perspektive werden sich unsere Entwicklungsarbeiten vor allem auf wichtige Details beziehen, insbesondere auf die Verbesserung folgender Kennwerte, die sich für die Anwender unserer Motoren vorteilhaft auswirken:

— Zuverlässigkeit

weitere Verbesserung des Isoliersystems einschließlich der Imprägnierung zur Erhöhung der Wicklungslebensdauer
verbesserte Wälzlager und Lagerungen

— Wartungsarmut

Lebensdauerschmierung bei vier- und höherpoligen Motoren für Kupplungsantriebe und 25 °C Umgebungstemperatur
vergrößerte Nachschmierfristen durch Einsatz eines in der Temperaturbeständigkeit weiter verbesserten Wälzlagerfettes

— Ökonomie

Wirkungsgraderhöhung bei 2poligen Motoren der Baugrößen 132—250, wie das für die Baugrößen 280 und 315 bereits realisiert wurde.
Erhöhung des mittleren Ausfallabstandes
Abbau von Projektierungsreserven in Verbindung mit der erhöhten Überlastbarkeit

— Umweltfreundlichkeit

Reduzierung der Geräusche entsprechend internationalem Trend
Verbesserung der Schwinggüte

— Schutzgrad

Schutzgrad IP 54 für Motor und IP 55 für Klemmenkasten

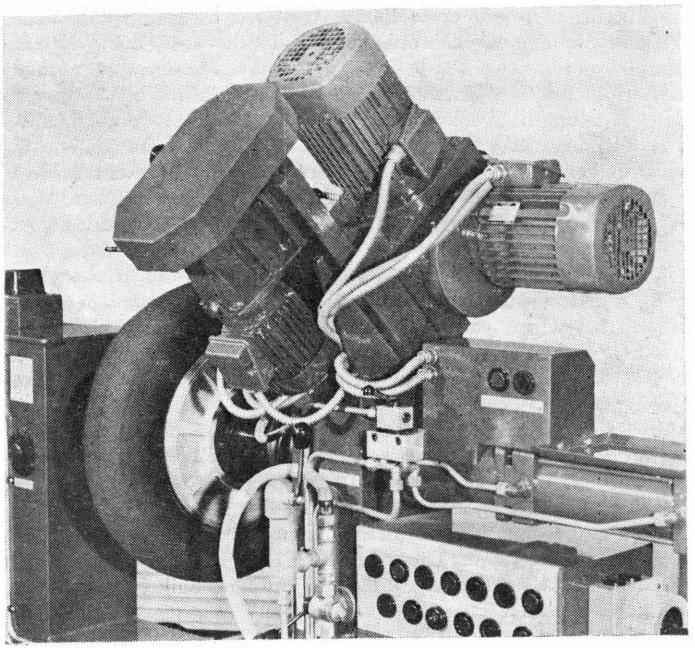


Bild 11. Vulkanisiermaschine mit VEM-Drehstrom-Asynchronmotoren der KMR-Reihe

— Anwenderfreundlichkeit
  Bereitstellung der Software zur rechnergestützten Projektierung nach bereits vorliegendem Angebot
  Ausführung mit thermischem Wicklungsschutz
  Ausführung mit Lagerüberwachungssystem
  Ausführung in höheren Schutzgraden

— Überlastbarkeit
  Ausnutzung der thermischen Reserven für wahlweise
  Betrieb bei erhöhter Umgebungstemperatur bis 55 °C
  oder Betrieb bei größeren Aufstellhöhen bis etwa 3000 m
  Betrieb bei erweiterten Spannungsgrenzen ($0{,}9 \cdots 1{,}1\ U_N$)
  Betrieb mit größeren Leistungen bei Wicklungserwärmung von 100 K für volle Auslastung mit einer reduzierten Wicklungslebensdauer
  oder günstigere Leistungswerte bei von S1 abweichenden Betriebsarten.

Der Entwicklung und Herstellung moderner Niederspannungs-Asynchronmotoren widmete der Elektromaschinenbau der DDR seit Beginn seiner volkseigenen Existenz vorrangige Aufmerksamkeit. Er nutzte dabei energisch seine Möglichkeiten der straffen Koordinierung von Wissenschaft und Produktion. Progressiv sich in das internationale Standardisierungsgeschehen einordnend, war er mit jeder Erzeugnisgeneration bemüht, gestiegenen Gebrauchswert mit höherer Effektivität der Produktion harmonisch zu verbinden.

Seit zwei Jahrzehnten ist die Standardisierung der Hauptabmessungen, vor allem die Zuordnung von Leistung und Außengeometrie, international festgeschrieben und markantes Zeichen für hohen Reifegrad und weitgetriebene industrielle Ausschöpfung der materiellen und intellektuellen Möglichkeiten. Stabilität war und ist jedoch nicht Stagnation. Das der Niederspannungs-Asynchronmaschine zugeordnete Forschungs- und Entwicklungspotential des VEB Kombinat Elektromaschinenbau wurde und wird zu einem gewichtigen Teil für die genannten Detailverbesserungen eingesetzt, zum anderen aber für weitergehende Aufgaben profiliert.
Dazu gehört auch die weitere Qualifizierung des Asynchronmotors zum organisch-adaptionsfähigen Partner des elektronischen Umrichters. Die Steigerung des „robusten Normmotors" zum hochwertigen, geregelten Antrieb ist eine wichtige Aufgabe auch für den Elektromaschinenbau der DDR geworden.

Literatur

[1] *Kochan, G.; Kröber, D.:* Dynamisches Angebot — geordnete Vielfalt: VEM-Niederspannungs-Asynchronmaschinen. Elektromaschinenbau der DDR — Technische Mitteilungen 8 (1987) 1, S. 3–7

[2] *Möckel, R.; Buchar, W.:* VEM-Asynchronmotoren der Typenreihe „M". ELEKTRIE, Berlin 24 (1970) 12, S. 434–437

Forschung für den Elektromaschinenbau

H. Reiche, KDT, Dresden

1. Die spezielle Aufgabe des VEB Kombinat Elektromaschinenbau in der Volkswirtschaft der DDR

Der VEB Kombinat Elektromaschinenbau ist in unserer nach den Prinzipien der Planwirtschaft und der konsequenten nationalen Arbeitsteilung wirkenden Volkswirtschaft für die Entwicklung und Produktion des bedeutendsten Teils des in der Welt üblichen Sortiments rotierender elektrischer Maschinen verantwortlich. Die in der Volkswirtschaft der DDR angestrebte strenge Arbeitsteilung sichert, national gesehen, maximale Jahresstückzahlen und damit einen hohen Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad, der mit Ausrüstungen realisiert wird, die im internationalen Vergleich Höchstniveau aufweisen. Da die erreichten Jahresstückzahlen in den meisten Fällen weit über der für eine rentable Produktion notwendigen kritischen Stückzahl [1] liegen, sind die produzierten Erzeugnisse auf dem internationalen Markt — in Verbindung mit ihrem hohen wissenschaftlich-technischen Niveau — immer wettbewerbsfähig.
Die Spezialisierung der Kombinate führt darüber hinaus unter anderem auch zur Konzentration der Forschungs- und Entwicklungskräfte auf das Gebiet der rotierenden elektrischen Maschinen.
Bekanntlich sind in der sogenannten freien Marktwirtschaft die Unternehmen der elektrotechnischen Industrie nicht an ein bestimmtes Sortiment von Erzeugnissen gebunden. Viele traditionelle Hersteller rotierender elektrischer Maschinen haben sich aus drei Gründen der Entwicklung und Produktion von Elektronikkomponenten der Antriebstechnik zugewandt:
Elektronikerzeugnisse lassen sich mit einer wesentlich höheren Materialproduktivität fertigen, sie unterliegen einem um Größenordnungen höheren Entwicklungstempo und ermöglichen deshalb einen wesentlich ausgeprägteren Innovationsprozeß, und schließlich ist ein moderner elektrischer Antrieb in zunehmendem Maße drehzahlvariabel zu gestalten und enthält zu diesem Zweck Stromrichter zur Spannungsstellung oder Umrichter zur Frequenzstellung.
Allein zur Hannover-Messe 1987 hatten unter etwa 120 Anbietern elektrischer Antriebe 94 Firmen Umrichter für die Frequenzstellung und damit Drehzahlstellung von Asynchronmotoren im Sortiment.
Für den VEB Kombinat Elektromaschinenbau wird dieser Trend im Sinne der Nutzung der Leistungselektronik, der Mikroelektronik

Dr.-Ing. habil. *Hans Reiche* ist Leiter des Bereichs Forschung im VEB Kombinat Elektromaschinenbau Dresden.

[3] *Reiche, H.:* Der Einsatz von halbfertig gelieferten siliziumfreien Dynamobändern in der VEM-Standardmotorenreihe „M". ELEKTRIE, Berlin 26 (1972) 5, S. 111–115

[4] *Kröber, D.:* Die elektrische Auslegung der Motoren der Typenreihe „M" Manuskriptdruck. 2. Symposium Elektromaschinenbau, KDT, Industriezweigverband Elektromaschinen

[5] *Kröber, D.:* Neue Generation Einphasen-Asynchronmotoren. Elektromaschinenbau der DDR — Technische Mitteilungen 1 (1980) 1, S. 15–19

[6] *Holle, R.:* Der VEM-Getriebemotor — ein vielseitiges elektrisches Antriebselement für niedrige Drehzahlen. Elektromaschinenbau der DDR — Technische Mitteilungen 2 (1981) 2, S. 12–14

[7] *Ficker, W.:* Die VEM-Einphasenmotoren in der Produktion. Elektromaschinenbau der DDR — Technische Mitteilungen 3 (1982) 1, S. 22–24

[8] *Lukat, H.:* Explosionsgeschützte VEM-Motoren jetzt auch nach Normen von CENELEC. Elektromaschinenbau der DDR — Technische Mitteilungen 2 (1981) 1, S. 11–13

[9] *Kutzera, W.:* Neue Anbaubremse — anschlußfertige Kompakteinheit für Standardmotoren. Elektromaschinenbau der DDR — Technische Mitteilungen 6 (1985) 2, S. 25–27

[10] *Reiche, H.; Berger, D.:* Antriebsgerechte Motorenauswahl mittels Personalcomputer. Elektromaschinenbau der DDR — Technische Mitteilungen 7 (1986) 1, S. 18–19.

EA 5916

und Mikrorechentechnik befolgt, wenn auch die Deckung des volkswirtschaftlichen Bedarfs an rotierenden elektrischen Maschinen im Vordergrund steht. Die Einbeziehung der Leistungs- und Mikroelektronik wirkt bedarfsreduzierend für den Sektor der Elektromaschinen: Eine verbesserte Schutz- und Diagnosetechnik, gewissermaßen eine Erhöhung der Zuverlässigkeit des Antriebs durch die Mittel der Mikroelektronik, erhöht die Verfügbarkeit des gesamten der Volkswirtschaft zur Verfügung stehenden Antriebsvolumens. Gleiches gilt für den Einsatz drehzahlgeregelter elektrischer Antriebe, die mit einem wesentlich reduzierten Antriebsaufwand die gestellten Aufgaben lösen können.

Der Elektromaschinenbau der DDR wird sich also immer stärker als international üblich auf die rotierende elektrische Maschine konzentrieren, d. h. den Erneuerungsprozeß auf hoher Geschwindigkeit halten und möglichst noch beschleunigen. Während einige international renomierte Unternehmen der elektrotechnischen Industrie die eigene Motorenproduktion liquidierten oder verlagerten und bereits in den letzten Jahrzehnten den Innovationsprozeß erlahmen ließen, wies zum Beispiel das bedeutende Erzeugnissortiment der VEB-Drehstrom-Standardmotoren seit Gründung der volkseigenen Industrie eine Generationsdauer von 8 Jahren auf. Die mittleren international vergleichbaren Größen liegen bei 12 und im Extremfall bei 20 Jahren. Dieser Konzentration des VEB Kombinat Elektromaschinenbau sind eine Reihe bemerkenswerter Entwicklungsfortschritte zuzuschreiben. So entstand ein internationales Spitzenniveau bei der Magnetkörperfertigung für Niederspannungs-Asynchronmotoren, sowohl die erzielten wirksamen Werkstoffparameter als auch die verfahrenstechnische Ausnutzung von Bändern betreffend [2] [3].

2. Forschung und das Entwicklungstempo des Elektromotors

Die Bedeutung der Forschung für ein Erzeugnis hängt im weitgehenden Maße vom Entwicklungstempo des gesamten Fachgebiets und im besonderen Maße von den qualitativen Umschlägen während des Entwicklungsprozesses ab. Charakteristische Forschung ergründet risikovoll Lösungswege im Hinblick auf ihre entwicklungstechnische Verwertbarkeit und im Hinblick auf entscheidende Marktwirksamkeit. Die Ausbeute progressiver Forschung für den nachfolgenden Entwicklungsprozeß wird mit 10 bis 20 % veranschlagt [4], für die innovative, durchschlagende Wirkung auf dem Markt gar nur mit 1 bis 5 %. Trotzdem und gerade deshalb wird die Grundlagen- und angewandte Forschung für die internationale Behauptung einer Industrienation als entscheidend angesehen und dementsprechend vielfältig staatlich gefördert.

Die geschilderten Zusammenhänge sind unbestritten, wenn es sich um die Entwicklungstrends und die Wirksamkeit der Schlüsseltechnologie handelt. In Anbetracht der nunmehr bereits über 100jährigen industriellen Nutzung der verschiedenen Wirkprinzipien der rotierenden elektrischen Maschine ist die Bedeutung der Forschung auf diesem Gebiet doch schon genauer zu untersuchen.

Zur Einschätzung des technisch-wissenschaftlichen Entwicklungstempos auf einigen im Zusammenhang mit der Antriebstechnik interessanten Technikbereichen gibt es folgenden Vergleich: Das Entwicklungstempo auf dem Gebiet der Mikroelektronik, gemessen an der Anzahl der auf einem Chip integrierten Bauelemente, ist durch eine Rate von 80 % je Jahr gekennzeichnet. Das läßt sich besonders gut an den Speicherschaltkreisen verfolgen, die heute etwa den Speicherumfang von 1 Mbit erreicht haben. Die Leistungselektronik kann global an der Vergrößerung der Größen Sperrspannung und Durchlaßstrom von Leistungshalbleitern gemessen werden. Das Produkt beider Größen wächst heute etwa mit einer Rate von 40 % je Jahr. Die Erweiterung des Einsatzbereichs von Leistungstransistoren belegt u. a. dieses Entwicklungstempo. In den letzten Jahren verschob sich die Einsatzgrenze je Jahr um etwa 20 kW Antriebsleistung. Zur Zeit hält man eine Antriebsleistung von 200 kW unter Verwendung von Leistungstransistoren in Umrichtern zur Speisung von Standard-Asynchronmotoren für möglich.

Das Entwicklungstempo auf den Gebieten der Elektronik basiert auf der Nutzung immer neuer Wirkprinzipien für die Verfahrensgestaltung, speziell auf dem Gebiet der Lithographie. Auch die Erschließung neuer, möglichst reiner Werkstoffe gibt bedeutende Entwicklungsimpulse.

Gegenüber diesen Entwicklungsfortschritten der Elektronik und Mikroelektronik nehmen sich die Fortschritte auf dem Gebiet der elektrischen Maschine als Element der Energieumwandlung mit Magnetkreisen und elektrischen Leitern bescheiden aus. So ist die systematische, durch die extrem kleine Umschlagzeit der Erzeugnisgenerationen gekennzeichnete Weiterentwicklung der VEM-Niederspannungs-Asynchronmotoren durch ein Entwicklungstempo von nur etwa 2 % je Jahr zu charakterisieren, wenn man als Kriterium für den Entwicklungsfortschritt die auf die umgewandelte Leistung bezogene Masse der Motoren ansetzt. Abgesehen davon, daß sich dieses Kriterium mit dem gestiegenen Energiebewußtsein, das eine weitere Massereduzierung nicht zuläßt, in Zukunft nicht vereinbaren läßt, werden bei bloßer Betrachtung der Massereduzierung eine große Anzahl von gebrauchswertsteigernden Fortschritten nicht berücksichtigt. Das betrifft insbesondere die Fortschritte bei der Senkung der Geräuschpegelwerte und bei der Erhöhung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit. Es ist aber mit Sicherheit festzustellen, daß bei der Entwicklung der klassischen elektrischen Maschine nicht mit solchen Entwicklungsreserven gerechnet werden kann, wie sie für die Elemente der Elektronik zur Verfügung stehen.

Durch eine nähere Betrachtung potentieller Entwicklungsmöglichkeiten der rotierenden elektrischen Maschine soll das näher begründet werden. Dabei sind schwerpunktmäßig die Möglichkeiten der Veränderung der Wirkprinzipien, der Verbesserung der theoretischen und rechnerischen Durchdringung, des Einsatzes neuer und weiterentwickelter Werkstoffe und die Nutzung von Fortschritten auf dem Gebiet der Strömungstechnik und Mechanik zu betrachten.

- Nutzung neuer Wirkprinzipien

Hinsichtlich der anwendungsgerechteren Gestaltung von Drehstromantrieben hat es in den letzten Jahrzehnten mehrere Ansätze gegeben. So war es naheliegend, die Forderung nach „linear" wirkenden Antrieben durch den Einsatz von sogenannten Linearmotoren zu befriedigen. Trotz großer Bemühungen ist nur eine absolut zu vernachlässigende Verdrängung des klassischen Asynchronmotors zu verzeichnen. Wesentliche Gründe gegen Linearantriebe sind die Schwierigkeiten bei der Realisierung kleiner Luftspalte zwischen den aktiven Teilen der Maschine und die Notwendigkeit der Speicherung der mechanischen Energie bei schwingenden Linearantrieben. Der Übergang von der Nutzung des Magnetfelds bei der Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie zur Nutzung des elektrischen Feldes ist prinzipiell denkbar, scheitert aber derzeit an der mangelnden Energieaufnahmefähigkeit der dielektrischen Werkstoffe. Insbesondere sind deshalb extrem reine Öle notwendig. In den nächsten 30 Jahren ist kein massenwirksamer Einsatz solcher Wirkprinzipien und etwa der Nutzung des piezoelektrischen Effekts zu erwarten.

Allein neue hartmagnetische Werkstoffe können Einfluß auf den Übergang vom Wirkprinzip der Asynchronmaschine zu dem der Synchronmaschine nehmen. Vorausgesetzt, sie stehen in großer Menge und billig zur Verfügung. Die Hoffnung auf den Masseneinsatz von Mangan-Aluminium-Magneten in Hermetikantrieben hat sich in den letzten Jahren zerschlagen.

- Verbesserung der theoretischen Durchdringung

Forschungen zur historischen Entwicklung der Elektrotechnik haben ergeben, daß die frühzeitige Entwicklung von Berechnungsmethoden zur Vorausbestimmung der Eigenschaften von rotierenden elektrischen Maschinen ein deutliches Vorbild für andere Gebiete der Elektrotechnik gegeben hat [5]. Durch die Erschließung der Nutzung von Rechenautomaten in den sechziger Jahren konnte dieser Vorlauf genutzt werden, einerseits sehr treffsichere Rechenprogramme zu entwickeln, andererseits aber einen „automatischen Entwurf" zu realisieren und insbesondere Probleme der „volkswirtschaftlichen Optimierung" des Maschinenentwurfs anzugehen [6]. Auf der Grundlage der entsprechend entwickelten Arbeitsmittel war und ist es möglich, ausgehend von den Forderungen an die Maschine und von den Material- und Energiepreisen, die optimale Maschine zu entwerfen, d. h. heute, das Computer Aided Design voll zu verwirklichen. Aus der Nutzung dieser Methoden leiten sich eine Anzahl wichtiger grundlegender Zusammenhänge ab. So z. B. die unumstößliche Dialektik zwischen Energie- und Materialökonomie, die sich in der Tatsache äußert, daß bei Niederspannungs-Asynchronmotoren eine Wirkungsgraderhöhung um 1 % leistungsabhängig eine Erhöhung des Einsatzes aktiver Materialien in folgender Größe erfordert:

Motorleistung kW	Erhöhung des Einsatzes aktiven Materials %
0,75	2,5
7,5	7,0
132,0	16,0

Auch für eine repräsentative Abschätzung der Entwicklungsfortschritte durch neue Werkstoffe lassen sich Optimierungsrechnungen bzw. der automatische Entwurf nutzen.
Für die detaillierte Analyse der magnetischen, thermischen und strömungstechnischen Verhältnisse in der elektrischen Maschine stehen die verschiedenen Methoden der Feldberechnung auf der Basis von Differenzenmethoden zur Verfügung, die auch vorbildlich und frühzeitig mit Nutzungsbeginn von Rechenautomaten im Elektromaschinenbau genutzt wurden [7]. Einige nur auf diesem Wege lösbare Probleme, z.B. die Berücksichtigung des Einflusses der Sättigung in hochausgenützten Jochen auf das Betriebsverhalten und die Berücksichtigung der Anisotropie in Magnetwerkstoffen, konnten mit Erfolg behandelt werden.
Die zur Verfügung stehenden Arbeitsmittel zur rechnerischen Durchdringung der elektrischen Maschine bieten die Voraussetzung für rationelle Weiterentwicklung der Erzeugnisse; von ihnen allein gehen jedoch keine Entwicklungsimpulse aus.

• Einsatz neuer und weiterentwickelter Werkstoffe

Für die Betrachtung des entwicklungstechnischen Fortschritts bei rotierenden elektrischen Maschinen stehen die Werkstoffe für die Magnetkreise, Dynamobänder und Permanentmagnete, die Isolierstoffe und die Leiterwerkstoffe im Mittelpunkt.
Kennzeichnend für den Fortschritt auf dem Gebiet der Dynamobänder oder Elektrobleche ist die Verbesserung der Magnetisierbarkeit, ausgedrückt durch die Flußdichte B_{25} bei einer Feldstärke von 25 A/cm, und die Verringerung der Verlustziffer $V_{1,5}$. Wiederum haben Optimierungsergebnisse, die repräsentativ für ganze Erzeugnisreihen von Niederspannungs-Asynchronmotoren sind, zu einem einfachen Beurteilungskriterium für diese Magnetwerkstoffe hinsichtlich einer möglichen Längenreduzierung Δl der Motoren geführt [2]:

$$\Delta l = -0{,}66\,\Delta B_{25} + 0{,}12\,\Delta V_{1,5}.$$

Angewendet auf das derzeit in bedeutendem Umfang im VEB Kombinat Elektromaschinenbau eingesetzte siliziumfreie Semifinished-Band BSFK 2,8 (TGL 27441) weist dieses Kriterium aus, daß dem Elektromaschinenbau damit bereits heute eine Spitzenqualität bezüglich ihrer Wirkung in der elektrischen Maschine zur Verfügung steht.
Weitere Fortschritte, z.B. die Anreicherung von Würfeltexturkomponenten im Elektroblech, müssen teuer erkauft werden und stehen für eine rasche Weiterentwicklung im Sinne der Erhöhung des Entwicklungstempos, das mit 2%/Jahr veranschlagt wurde, nicht zur Verfügung.
Neue dauermagnetische Werkstoffe, wie Samarium-Kobalt- und Neodym-Eisen-Legierungen, stellen keine Basis für die Vervollkommnung der Masse der Maschinen dar. Sie haben Einfluß auf den Kleinmaschinensektor und sind bedeutsam für die Gestaltung moderner Drehstrom-Vorschub- und Servoantriebe. Für solche ökonomisch wichtigen Fortschritte wie dem Einsatz von Permanentmagneten zur Vermeidung von Drehstrommagnetisierungsleistung, d.h. dem breiten Übergang vom Asynchron- zum Synchronprinzip, sind in den nächsten Jahren keine Voraussetzungen gegeben.
Die Isolierstoffe unterliegen hinsichtlich ihrer Wärmebeständigkeit einer ständigen Weiterentwicklung. Allerdings lassen sich die Fortschritte in der Erhöhung der maximal zulässigen Wicklungstemperatur nicht mehr unmittelbar in eine Erhöhung der materialökonomischen Ausnutzung umsetzen. Eine Erhöhung der zulässigen Maximaltemperatur um beispielsweise 20 K ermöglicht eine Massenreduktion um 12%, zugleich aber eine (verbotene) Wirkungsgraderniedrigung um 2%. Somit müssen die durch die Isolierstoffentwicklung möglichen Fortschritte im Sinne der Erhöhung von Lebensdauer und Zuverlässigkeit im Anwendungsfeld relativ mühsam ökonomisch umgesetzt werden; zur Zeit gibt es dafür international keine Maßstäbe, die eine Gebrauchswerterhöhung zu quantifizieren ermöglichen.
Die in rotierenden elektrischen Maschinen benutzten Leiterwerkstoffe sind Kupfer und Aluminium. Die elektrische Leitfähigkeit von Kupfer zu erhöhen, ist in technisch-ökonomisch bekanntem, aber sehr kleinem Maße möglich, beispielsweise durch Reduktion des Sauerstoffgehalts. Die Leitfähigkeit der druckgegossenen Aluminiumkäfige hängt etwas vom Druckgießverfahren und seiner Reproduzierbarkeit ab. Bedeutende Fortschritte sind auf dem Gebiet der Leiterwerkstoffe nicht zu erwarten. Die Nutzung „warmer" Supraleiter, die sich bei der Temperatur von flüssigem Stickstoff leitfähig halten lassen, wird in den nächsten 20 Jahren für das hier angesprochene Erzeugnissortiment mit Sicherheit nicht wirksam werden.
Es ist deutlich geworden, daß das Entwicklungstempo der klassischen rotierenden elektrischen Maschine von den Voraussetzungen und Entwicklungsquellen her begrenzt ist. Dagegen spricht nicht der heute im VEB Kombinat Elektromaschinenbau zu verzeichnende Erneuerungsgrad von etwa 30%, der aber wohl die großen Bemühungen zur konsequenten und sofortigen Nutzung aller Entwicklungsreserven widerspiegelt.
Ebenso ist jedoch deutlich geworden, daß das Entwicklungstempo der elektrischen Maschine heute als bloßer Energiewandler nicht ausreicht, um die Leistungsentwicklung eines Industriezweigs voll zu gewährleisten. Offensichtlich müssen weitere wesentliche Entwicklungsreserven in der Vervollkommnung der Fertigungsverfahren, die wiederum eine Weiterentwicklung der elektrischen Maschine erfordern, gesehen werden. Und schließlich ist die elektrische Maschine der Teil eines Antriebs- oder eines Energieversorgungssystems. Verantwortungsvoll müssen die Pflichten aus der notwendigen Gestaltung optimaler Systeme wahrgenommen werden, das erforderliche Erzeugnissortiment hinsichtlich Umfang und wissenschaftlich-technischem Niveau paßfähig bereitzustellen. Eine zusätzliche Aufgabe entsteht aus der international zu verzeichnenden Tendenz, daß die Produzenten elektrischer Maschinen wie auch von anderen Antriebskomponenten und die Produzenten von Generatoren zum Angebot kompletter Systemlösungen übergehen. Das ist durch das Angebot kompletter Antriebe großer Unternehmen, die alle Antriebskomponenten selbst produzieren, und kleiner Unternehmen, die diese Aufgabe durch Kooperation lösen, besonders deutlich.
Den aufgezeigten Aufgaben und daraus abgeleiteten Entwicklungslinien sind Forschungsrichtungen zuzuordnen, die den hohen Innovationsgrad auf den gesamten Gebieten zu sichern haben.

3. Moderne Forschungsrichtungen im Elektromaschinenbau

Bei Konzentration auf das Gebiet der Antriebstechnik lassen sich folgende Forschungsschwerpunkte für den Elektromotor bilden:

• Der Elektromotor als Energiewandler

Dieses „klassische" Forschungsgebiet ist bei der Betrachtung des Entwicklungstempos schon ausführlich behandelt worden. Dominierendes Arbeitsprinzip ist die möglichst umgehende Ökonomisierung der selbst oder in Kooperation erarbeiteten Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Werkstoffe, wobei die vorhandenen und weiterzuentwickelnden mathematischen Modelle eine exakte Abschätzung der Effekte aus den Werkstoffortschritten ermöglichen. Der Elektromaschinenbauer muß entscheidenden Anteil an diesen für ihn fachrichtungsfremden Forschungen nehmen und die Akzente setzen, weil für die Zulieferindustrie der Bedarf des Elektromaschinenbaus eine kleine Untermenge im Standardsortiment darstellt. Schwerpunkte sind in Zukunft isotrope Dynamobänder mit durch Texturkomponenten verbesserten Eigenschaften, Flächenisolierstoffe unter Verwendung von Vlies und hochwertigen Tränkmitteln, wärmebeständige Drähte und kostengünstige hartmagnetische Werkstoffe.
Ein starkes Motiv zur Weiterentwicklung der Dynamobänder ist durch die Möglichkeit gegeben, daß eine Erhöhung der Magnetisierbarkeit um ein Hundertstel Tesla eine Reduktion der Maschinenlänge bei Niederspannungs-Asynchronmotoren um 1% (für Magnetkörper und Wicklung) bewirken kann.
Im volkswirtschaftlichen Interesse sind in Zukunft Entscheidungen zur Entwicklung und Produktion von modernen Zuliefermaterialien für den Elektromaschinenbau auf der Grundlage von Berechnungen des volkswirtschaftlichen Gesamtaufwands zu treffen. Einen wichtigen methodischen Ansatz dazu stellt eine Studie der Bergakademie Freiberg für Alternativbetrachtungen zur Produktion von Dynamobandqualitäten dar [8]. Für die Nutzung der neuartigen amorphen Bänder als weichmagnetisches Material werden solche gesamtwirtschaftlichen Betrachtungen von prinzipieller Bedeutung sein.
In Anbetracht des engen Zusammenhangs zwischen den material- und energieökonomischen Fortschritten beim Einsatz weiterentwickelter Werkstoffe besteht eine noch ungelöste Forschungsaufgabe darin, die herrschenden Material- und Energiepreise so zu wichten, daß ein volkswirtschaftlich optimaler Maschinenentwurf entsteht [9].
Zum Forschungskomplex Energiewandler gehören auch die Forschungen zum Kühlsystem, besonders im Hinblick auf die zuneh-

mende Rolle der Fremdlüftung bei drehzahlvariablen Antrieben und auf die Reduktion von Material.

• Der Elektromotor als Verfahrensobjekt

Die zunehmende Automatisierung der Fertigung von elektrischen Maschinen hat bisher nur relativ wenig Einfluß auf die Konstruktion genommen. In wenigen Fällen hat sich die Konstruktion den Prinzipien einer rationellen Fertigung gebeugt. Am ehesten war das bei der Entwicklung einer Reihe von Spaltpolmotoren der Fall, bei der der Sicherung einer hohen Produktivität der Spulenfertigung die konstruktive Ausführung untergeordnet wurde [10]. In Zukunft wird eine weitgehende Beeinflussung der Konstruktion durch die Forderung nach automatischer Montage notwendig werden. Der aktive Teil der elektrischen Maschine, die Magnetkörper und die Wicklungen, reagieren sehr empfindlich gegen verfahrenstechnische Einflüsse, weil sie sehr gut ausgenutzt sind. Es müssen schon bedeutende verfahrenstechnische Effekte Abstrichen in den Leistungsparametern entgegengehalten werden können. Aus diesen Gründen sind bisher solche Möglichkeiten wie der Einsatz amorpher, energieökonomisch außerordentlich günstig zu fertigender Dynamobänder, der Einsatz von Feinguß bei kleinen Motoren und der Einsatz vorgefertigter Wicklungen für Niederspannungsmotoren, gescheitert. Trotzdem sollte auf diesem Gebiet in engem Kontakt mit den Verfahrensentwicklern weiter systematisch geforscht werden. Die Verbesserung der Eigenschaften gegossener Läuferkäfige gehört ebenfalls zum Grenzgebiet zwischen Konstruktion und technologischer Forschung.

• Der Elektromotor im Antriebssystem

Für die antriebsgerechte Auswahl der Motoren als Antriebskomponenten gibt es die sogenannten Projektierungsanleitungen, die die Verbindung zwischen Antriebstechnik und Elektromaschinenbau darstellen.

Für die optimale Gestaltung einer Antriebslösung ist aber ein wesentlich größerer Aufwand an Projektierungsleistung des Anwenders erforderlich. Neben der Berechenbarkeit aller Komponenten des Antriebssystems und der zu betreibenden Arbeitsmaschine hinsichtlich ihrer stationären Parameter gehört die Simulation des Zeitverhaltens des Systems zum Arbeitsmittel. Die sehr rasch voranschreitende Nutzung dezentraler Rechentechnik in Gestalt von Personalcomputern hat bereits zu einer weitgehenden Übernahme bisher benutzter Rechenmethoden in die Form von Rechenprogrammen geführt. Allerdings haben die Forschungen zur Bestimmung der für neue Berechnungsverfahren notwendigen Motorenparameter mit diesem Prozeß nicht Schritt gehalten. Daraus entsteht eine bedeutende Forschungsaufgabe für den Elektromaschinenbau. Insbesondere sind Untersuchungen zu den thermischen Eigenschaften und den Reaktanzen bei unterschiedlichen Drehzahlen und zeitlich rasch veränderlichen Bedingungen notwendig.

Im Ergebnis der Forschungen wird sich die Anzahl der Eigenschaften einer elektrischen Maschine erhöhen und damit zu einer neuen Qualität führen. Diese neuen garantierten Eigenschaften werden wiederum die Möglichkeit geben, die Motoren im Antriebssystem zu schützen bzw. die Belastungsreserven zu verringern, Motorschutztechnik läßt sich besser an den Motor anpassen.

Ein Teilproblem ist die Speisung von Drehstrommotoren durch Umrichter über variable Frequenzen. Die damit verknüpften Oberwelleneinspeisungen und -wirkungen verlieren in Anbetracht weiterentwickelter Umrichtertechniken zur „Sinusspeisung" und zum „lautlosen Betrieb" an Bedeutung, die Erweiterung des Frequenzbereichs über 50 Hz stellt aber neue Anforderungen an die Maschine.

Moderne Antriebssysteme stellen auch spezielle Forderungen an das Kühlsystem, die Eigenlüftung ist vielfach nicht als optimal anzusehen.

Das als internationaler Markttrend bereits zitierte Angebot kompletter Antriebslösungen wird im wesentlichen durch den umrissenen Forschungsschwerpunkt untersetzt. Erste Ergebnisse auf diesem Gebiet sind die Rechenprogramme zur „antriebsgerechten Auswahl von Antriebskomponenten", die als Software mit dem Namen VEM Prodrive vom VEB Kombinat Elektromaschinenbau vertrieben werden.

• Der zuverlässige Elektromotor

Mit der allgemeinen Erhöhung des Automatisierungsgrades in der Industrie werden hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Antriebsmotoren höhere Anforderungen gestellt. Das äußert sich u. a. in der zunehmenden Verdrängung der Kommutatormaschinen und des Gleitkontakts allgemein. Das Entwicklungsproblem besteht darin, die drehzahlvariable Drehstromtechnik einzuführen, Lösungen hierfür sind bekannt. Die Erhöhung der Zuverlässigkeit der Antriebsmotoren könnte relativ einfach durch Einsatz von mehr Material bewirkt werden. Es würden dann die spezifischen, den Verschleiß bewirkenden Belastungen herabgesetzt. Materialökonomischer erscheint allerdings die Nutzung der Elemente der Mikroelektronik zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der Antriebssysteme.

Relativ naheliegend ist die Übertragung von Diagnoseaufgaben an zentrale oder dezentrale Rechner, die die Prozesse steuern und regeln. Für die Diagnose der Antriebselemente und ihres Verschleißzustands bedarf es dagegen neuer, möglichst „intelligenter" Sensoren. Für den Antriebsmotor erfordert das vor allem Sensoren für die Wicklungsdiagnose und für den Zustand der Lager. Die erhaltenen Informationen müssen in einem verarbeiteten Zustand an die übergeordnete Zentrale so weitergegeben werden, daß der Gesamtzustand des Motors erkannt wird und Hinweise für seine Instandhaltung ableitbar sind. Damit wird dem modernen Trend zur zustandsabhängigen Instandhaltung Rechnung getragen. Die Diagnose des Zustandes des Antriebsmotors bekommt eine besondere Bedeutung durch das Bestreben, die Motoren als Antriebselemente besser auszunutzen und sie mit kleineren Projektierungsreserven einzusetzen. Überhaupt ist durch Forschungen zu klären, ob der Motor ein Verschleißobjekt ist, das entsprechend der von ihm erwarteten Lebensdauer eingesetzt wird, oder aber, wie bisher, als ein für eine normative Lebensdauer für sicher eingeschätztes Element, das lediglich vor Überlastungen zu schützen ist. Moderne Anschauungen neigen dem lebensdauerorientierten Einsatz zu, so wie er bei mechanischen Antriebselementen bereits üblich ist und dort materialökonomisch wirkt.

4. Zusammenfassung

Der lange erfolgreiche Entwicklungsweg der rotierenden elektrischen Maschine hat zu einem hohen wissenschaftlich-technischen Stand geführt, der die volle Konzentration der erzeugnisbezogenen Forschung auf Schwerpunkte erfordert, um weitere notwendige, wirksame Entwicklungsfortschritte zu erzielen. Der geforderten Konzentration diente die ausschließliche Behandlung des Elektromotors, gerade weil der Fortschritt der Antriebstechnik von den Entwicklungen der Leistungselektronik und der Steuer- und Regelsysteme geprägt wird und unter dem Eindruck dieser stürmischen Entwicklung der klassische Elektromotor mit seiner großen volkswirtschaftlichen Bedeutung leicht vernachlässigt wird.

Literatur

[1] *Goulden, A.:* Rezepte vom britischen für den deutschen Elektromarkt. etz B 102 (1981) 24, S. 1264

[2] *Reiche, H.:* Optimales Dynamoband für Niederspannungs-Asynchronmotoren. Elektromaschinenbau der DDR 2 (1981), S. 6–9

[3] *Eisenreich, W.:* Wege zu effektiven Schneidprozessen für Roboter- und Statorbleche. Dissertation, Ingenieurhochschule Zwickau, 1983

[4] *Berthold, K.:* Die Grundlagenforschung großer Industrieunternehmen in der BRD. Reihe Betriebswirtschaftliche Studien, Nr. 6. Berlin (West) 1969

[5] *Schubert, P.:* Zur Genese von Theorie und Berechnung elektromagnetischer Energiewandler als Leitdisziplin bei der Herausbildung der Elektrotechnik als technisch-wissenschaftliche Disziplin. Dissertation B, Technische Universität Dresden, 1984

[6] *Reiche, H.:* Der Entwurf von volkswirtschaftlich optimalen elektrischen Maschinen. Zeitschrift für wirtschaftliche Energieanwendung (1966) 11, S. 241–244

[7] *Reiche, H.:* Die maschinelle Rechentechnik im Elektromaschinenbau. XI. Intern. Wiss. Koll. der TH Ilmenau, 1966, Heft 1

[8] *Oppermann, K.; Matthes, K.:* Zur Effektivitätsbewertung höher veredelter metallurgischer Erzeugnisse. Stahlberatung Freiberg 12 (1985) 1, S. 1–8

[9] *Reiche, H.:* Material- und energieökonomisch optimale Einsatzbedingungen für Niederspannungs-Asynchronmotoren. ELEKTRIE 36 (1981) 7, S. 92–97

[10] *Reiche, H.:* Einheitliche Konstruktion – hochproduktive Fertigungsverfahren. Technische Gemeinschaft (1977) 10, S. 21–23

EA 5912

Diagnose von Isolierungsfehlern in Wicklungen elektrischer Maschinen

K.-H. Linsel, KDT; R. Porzel, KDT, Ilmenau

Verwendete Formelzeichen

A, B	Faktoren, definiert in (5)
C	Kapazität
Im ($\underline{Z}$)	Imaginärteil der Impedanz ($\underline{Z}$)
L	Induktivität der Spule
n	Anzahl der Fensterdurchgänge
R	Widerstand
Re ($\underline{Z}$)	Realteil der Impedanz ($\underline{Z}$)
R_{Fe}	die Eisenverluste charakterisierender Widerstand
R_K	Widerstand des metallischen Kontakts oder in der Entladung
R_S	Widerstand in der Schaltstrecke
T	Periodendauer
t	Zeit
U	Gleichspannung
$u(t)$	Momentanwert der Spannung
w	Windungszahl
$\underline{Z}$	Impedanz
δ	Dämpfungsfaktor
Λ	magnetischer Leitwert
σ	Streukoeffizient
ω	Kreisfrequenz
ζ	Bewertungsquotient

Indizes

E	Erregerspule, Erregerseite
F	Fehlerseite, Fehlerfall
G	Grenzwert
P	Prüfling
S	Schaltstrecke
W	Windung
0	fehlerfreier Fall
n	Anzahl der Fensterdurchgänge
δ	Dämpfungsfaktor

Bei der Entwicklung elektrischer Maschinen ist die Erhöhung der Zuverlässigkeit eine technisch-ökonomische Forderung. Die Lebensdauer der Isolierung einer Maschine ist ein wesentliches Zuverlässigkeitsmerkmal. Möglichkeiten der Erzielung einer hohen Wicklungslebensdauer sind durch den Einsatz hochwertiger Isolierstoffe bzw. Kombinationen von Isolierstoffen bei der Herstellung des Isoliersystems, eine hohe technologische Disziplin und den Einsatz zweckmäßiger Prüfverfahren gegeben.

1. Elektrische Festigkeit und Prüfnotwendigkeit

Die Lebensdauer einer Feststoffisolierung kann aus den Beziehungen für die Abhängigkeiten für die Durchschlagspannungen $u_D = f(t)$ und die Teilentladungseinsatzspannungen $u_{TE} = f(t)$ bei Langzeitbeanspruchung abgeleitet werden [1] [2].
Schnelle transiente Belastungen der Isolierung erfordern entsprechende Nennstehblitzspannungen. Daraus resultiert, daß bei der Prüfung der fertiggestellten Spulenisolierung solche Spannungen anzuwenden sind, daß Spulen mit einer Isolierung, die den angegebenen Festigkeiten nicht entsprechen, ausgesondert werden. Das führt zu Forderungen an die Höhe der Spannungsamplitude und an den zeitlichen Verlauf der Spannung, die die im allgemeinen in den Ständer eingebaute Spule belasten. Die als zweckmäßig erkannte Belastung führt bei zu geringer elektrischer Festigkeit der Isolierung zu Teilentladungen oder Durchschlägen bzw. Überschlägen, die elektrisch zu erfassen sind.

Prof. Dr.-Ing. *Karl-Heinz Linsel*, TH Ilmenau, Leiter des Wissenschaftsbereichs Elektrische Maschinen der Sektion Elektrotechnik. Doz. Dr.-Ing. *Richard Porzel*, TH Ilmenau, Mitarbeiter im Wissenschaftsbereich Elektrische Isolier- und Hochspannungstechnik der Sektion Elektrotechnik.

Die Autoren danken Dr.-Ing. *K. Rüffer*, VEB Kombinat Elektromaschinenbau Sachsenwerk, für die gute Zusammenarbeit bei den Untersuchungen.

Bild 1. Prinzipschaltung zur Windungsschlußprüfung an Hochspannungsspulen rotierender elektrischer Maschinen

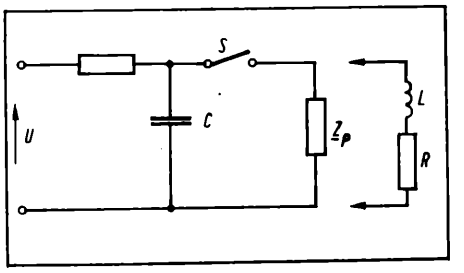


Bild 2. Verlauf der Spannung u_p über dem Prüfling

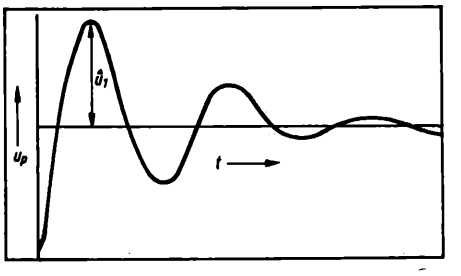


Bild 3. Modell zur Ermittlung der erregerseitigen Impedanz $\underline{Z}_E$ bei Windungsschluß des Prüflings

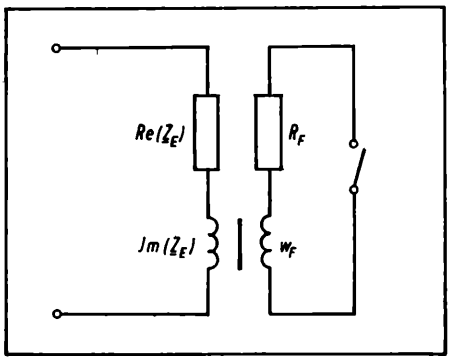
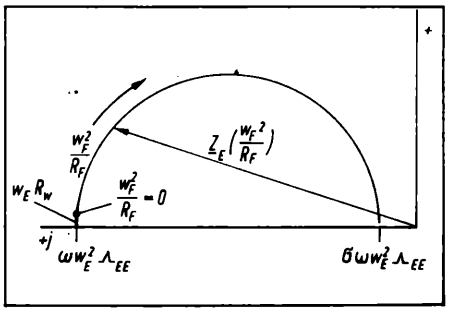


Bild 4. Ortskurve der Impedanz $\underline{Z}_E$



2. Belastung des Prüflings, Bestimmung der Meßgröße und des Meßwertes

Als zweckmäßige, die elektrische Beanspruchung im Betrieb simulierende Belastung von Hochspannungsspulen hat sich die hochfrequente Spannung mit abklingender Amplitude erwiesen [3]. Die dabei angewandte Schaltung zeigt Bild 1.
Der Spannungsverlauf über dem Prüfling $\underline{Z}_P$ ist entsprechend [4]

$$u_p(t) = -U \frac{1}{\cos \xi} \exp(-\delta t)(\cos \Omega t + \xi). \quad (1)$$

Für kleine Werte des Dämpfungsfaktors δ gilt $\xi \to 0$, $\cos \xi \approx 1$ und $\Omega \approx \omega$. Dann ergibt sich

$$u_p(t) \approx -U \exp(-\delta t) \cos \omega t \quad (2)$$

entsprechend Bild 2.
Der Dämpfungsfaktor ist

$$\delta = \frac{R}{2L} \quad (3)$$

und die Kreisfrequenz des Schwingkreises ist

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{C\,L}}. \tag{4}$$

Zur Bewertung der Spulenisolierung werden die Amplitude der ersten vollständigen Halbschwingung der Spannung $\hat{u}_1$, der Dämpfungsfaktor δ und die Kreisfrequenz ω herangezogen.
Die Änderung dieser Parameter infolge von Entladungserscheinungen oder von Windungsschlüssen, z.B. durch Leiterberührung, ist nur qualitativ bekannt.
Zur Herleitung der fehlerbedingten Veränderung des Realteils und des Imaginärteils der Spulenimpedanz $\underline{Z}_\mathrm{P}$ wird das Modell entsprechend Bild 3 benutzt. Dabei werden die Spulenkapazitäten und Isolierungswiderstände vernachlässigt und die vom Fehlerstrom durchflossenen Windungen als galvanisch von den erregenden Windungen abgetrennt betrachtet. Für diese Anordnung gelten die Spannungsgleichungen des linearen Transformators ohne Ummagnetisierungsverluste [5]. Daraus läßt sich die Impedanz für die Erregerseite

$$\underline{Z}_\mathrm{E} = w_\mathrm{E} R_\mathrm{W} + \omega\, w_\mathrm{E}^2 \Lambda_\mathrm{EE}\, A + \mathrm{j}\,\omega\, w_\mathrm{E}^2 \Lambda_\mathrm{EE}\, B,$$

$$A = \frac{1-\sigma}{\omega \dfrac{w_\mathrm{F}^2}{R_\mathrm{F}} \Lambda_\mathrm{FF} + \dfrac{1}{\omega \dfrac{w_\mathrm{F}^2}{R_\mathrm{F}} \Lambda_\mathrm{FF}}},$$

$$B = 1 - \frac{1-\sigma}{1 + \dfrac{1}{\left(\omega \dfrac{w_\mathrm{F}^2}{R_\mathrm{F}} \Lambda_\mathrm{FF}\right)^2}} \tag{5}$$

für die metallisch oder durch Entladungen kurzgeschlossenen Windungen w_F ableiten [6]. Der Widerstand im fehlerbehafteten Kreis ist

$$R_\mathrm{F} = w_\mathrm{F} R_\mathrm{W} + R_\mathrm{K}. \tag{6}$$

Aus (5) ist zu entnehmen, daß die den Isolierungsfehler charakterisierende Größe $\frac{w_\mathrm{F}^2}{R_\mathrm{F}}$ ist. Sie stellt die Meßgröße dar und wird entsprechend [7] als Fehlerparameter bezeichnet. Er beeinflußt Realteil und Imaginärteil der Impedanz $\underline{Z}_\mathrm{E}$. Die Ortskurve $\underline{Z}_\mathrm{E} = f\left(\frac{w_\mathrm{F}^2}{R_\mathrm{F}}\right)$ zeigt Bild 4.
Wird auf eine hohe Empfindlichkeit der Prüfanordnung orientiert, so muß untersucht werden, welche Komponente der Impedanz $\underline{Z}_\mathrm{E}$ bei kleinen Fehlerparametern die größte Änderung hat. Für kleine Fehlerparameter gilt $\omega \frac{w_\mathrm{F}^2}{R_\mathrm{F}} \Lambda_\mathrm{FF} \ll 1$.
Dafür ergeben sich der Realteil der Impedanz $\underline{Z}_\mathrm{E}$

$$\mathrm{Re}\,(\underline{Z}_\mathrm{E}) \approx w_\mathrm{E} R_\mathrm{W} + \omega^2 w_\mathrm{E}^2 \Lambda_\mathrm{EE}\,(1-\sigma)\,\Lambda_\mathrm{FF} \frac{w_\mathrm{F}^2}{R_\mathrm{F}} \tag{7}$$

und der Imaginärteil

$$\mathrm{Im}\,(\underline{Z}_\mathrm{E}) \approx \omega\, w_\mathrm{E}^2 \Lambda_\mathrm{EE}. \tag{8}$$

Aus der Ortskurve $\underline{Z}_\mathrm{E} = f\left(\frac{w_\mathrm{F}^2}{R_\mathrm{F}}\right)$ (Bild 4) und den Gln. (7) und (8) ist erkennbar, daß

- die Änderung des Realteils der Erregerimpedanz bei kleinen Werten für $\frac{w_\mathrm{F}^2}{R_\mathrm{F}}$ ein Vielfaches der Änderung des Imaginärteils der Impedanz beträgt
- große Änderungen von Re $(\underline{Z}_\mathrm{E})$ bei kleinem $\frac{w_\mathrm{F}^2}{R_\mathrm{F}}$ hohe Werte für die Kreisfrequenz, die Windungszahl der Erregerseite, die magnetischen Leitwerte Λ_EE und Λ_FF und kleine Werte für den Streukoeffizienten erfordern.

Werden die Ergebnisse der Modellbetrachtung in die Beziehungen für den Dämpfungsfaktor und die Kreisfrequenz übertragen, so ergibt sich für eine Prüfanordnung entsprechend Bild 5 aus (3)

$$\delta = \frac{\omega\,\mathrm{Re}\,(\underline{Z}_\mathrm{P})}{2\,\mathrm{Im}\,(\underline{Z}_\mathrm{P})} \tag{9}$$

und aus (4)

$$\omega = \frac{1}{C\,\mathrm{Im}\,(\underline{Z}_\mathrm{P})}. \tag{10}$$

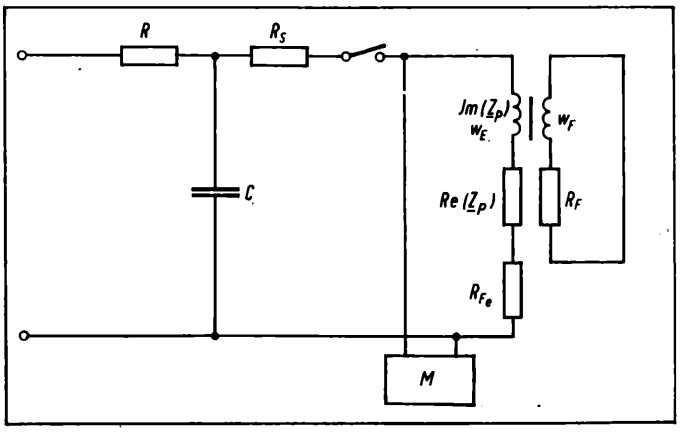


Bild 5. Prinzipschaltung zur Windungsschlußprüfung; Berücksichtigung des Windungsschlußmodells und der für die Schaltstrecken- und Ummagnetisierungsverluste eingefügten Widerstände R_S und R_Fe

Soll eine hohe Empfindlichkeit erreicht werden, muß die Größe als Meßwert gewählt werden, die sich bei kleinen Fehlerparametern stark ändert. Diese Forderung erfüllt der Dämpfungsfaktor δ, da der Realteil Re $(\underline{Z}_\mathrm{p})$ im unteren Parameterbereich stark vom Fehlerparameter abhängt. Das Verfahren „Messung des Dämpfungsfaktors δ" ist anderen Verfahren vorzuziehen. Bei kleinen Fehlerparametern tritt praktisch keine Änderung der Kreisfrequenz ω ein [Gln. (8) und (10)].
Der Dämpfungsfaktor wird weiterhin durch den Widerstand in der Schalterstrecke S R_S (z.B. Kugelfunkenstrecke) und den die Ummagnetisierungsverluste charakterisierenden Widerstand R_Fe beeinflußt (Bild 5).
Dann gilt für den Dämpfungsfaktor entsprechend (9)

$$\delta = \frac{w_\mathrm{E} R_\mathrm{W} + \omega\, w_\mathrm{E}^2 \Lambda_\mathrm{EE}\, A + R_\mathrm{S} + R_\mathrm{Fe}}{2\, w_\mathrm{E}^2 \Lambda_\mathrm{EE}\, B}. \tag{11}$$

Eine hohe Empfindlichkeit der Prüfanordnung ist gegeben, wenn der Quotient aus dem Dämpfungsfaktor δ_0 im fehlerfreien Fall und dem Dämpfungsfaktor δ_F im Fehlerfall

$$\zeta_\delta = \frac{\delta_0}{\delta_\mathrm{F}}; \qquad 0 < \zeta_\delta \leqq 1$$

kleine Werte hat.
Mit den Indices „0" für den fehlerfreien Fall (mit $A = 0$ und $B = 1$) und „F" für den Fehlerfall wird

$$\zeta_\delta = \frac{w_\mathrm{E} R_\mathrm{W} + R_{\mathrm{S}0} + R_{\mathrm{Fe}0}}{2\, w_\mathrm{E}^2 \Lambda_\mathrm{EE}} \cdot \frac{2\, w_\mathrm{E}^2 \Lambda_\mathrm{EE}\, B}{w_\mathrm{E} R_\mathrm{W} + R_\mathrm{SF} + R_\mathrm{FeF} + \omega_\mathrm{F} w_\mathrm{E}^2 \Lambda_\mathrm{EE} A}$$

und daraus mit

$$R_{\mathrm{S}0} \approx R_\mathrm{SF} \approx R_\mathrm{S},$$

$$R_{\mathrm{Fe}0} \approx R_\mathrm{FeF} \approx R_\mathrm{Fe},$$

$$\zeta_\delta \approx \frac{B}{1 + \dfrac{\omega_\mathrm{F} w_\mathrm{E}^2 \Lambda_\mathrm{EE} A}{w_\mathrm{E} R_\mathrm{W} + R_\mathrm{S} + R_\mathrm{Fe}}}. \tag{12}$$

Mit (7) und (8) errechnet sich die Näherung für kleine Fehlerparameter

$$\zeta_\delta \approx \frac{1}{1 + \dfrac{\omega^2 w_\mathrm{E}^2 \Lambda_\mathrm{EE}\,(1-\sigma)\,\Lambda_\mathrm{FF} \dfrac{w_\mathrm{F}^2}{R_\mathrm{F}}}{w_\mathrm{E} R_\mathrm{W} + R_\mathrm{S} + R_\mathrm{Fe}}}. \tag{13}$$

Soll eine hohe Empfindlichkeit erreicht werden, müssen hohe Werte für die Kreisfrequenz ω_0 bzw. ω_F und ggf. für w_E und kleine Werte für den Streukoeffizienten und für die Widerstände R_S und R_Fe angestrebt werden.
Mit der Wahl einer Frequenz im Bereich 50 kHz $< f <$ 120 kHz haben sich in der Erprobung sehr hohe Empfindlichkeiten ergeben [8] [9]. Teilentladungen in der Längsisolierung konnten erfaßt werden. Demzufolge sind für unterschiedliche Prüflingsinduktivitäten untersohiedliche Werte für die Schwingkreis-Kapazität C zweckmäßig.

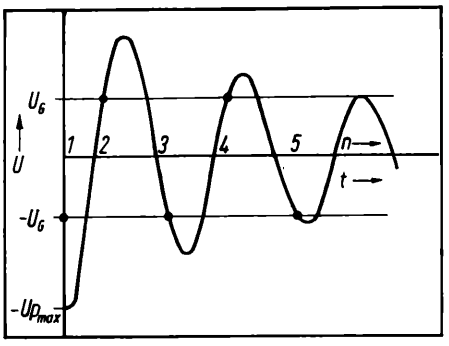


Bild 6. Zur Ermittlung der Anzahl der Fensterdurchgänge n

3. Entwicklung einer vom Dämpfungsfaktor δ abhängigen Zählgröße

Zur Ermittlung des Dämpfungsfaktors sind zwei Amplitudenwerte der Spannung über der Spule $u_p(t)$ mit einem Oszilloskop zu erfassen und der Dämpfungsfaktor zu errechnen. Diese Aufgabe kann umgangen werden, wenn als Meßwert eine vom Dämpfungsfaktor abhängige Zählgröße n eingeführt wird. Sie stellt die Anzahl der positiven und negativen Halbschwingungen in der Spannung $u_p(t)$ dar, die den Grenzwert der Spannung $\pm U_G$ über- bzw. unterschreiten (Bild 6). Sie wird als Anzahl der Fensterdurchgänge (FD) bezeichnet.

Für die n'-te Amplitude der gedämpften Schwingung gilt

$$U_G = U_{P\max} e^{\left(-\delta n' \frac{T}{2}\right)}. \tag{14}$$

Nach dem Logarithmieren ergibt sich

$$n' = \frac{2}{\delta_T} \ln \frac{U_{P\max}}{U_G} \tag{15}$$

und mit $\omega = \frac{2\pi}{T}$ und $n = 1 + n'$

$$n = 1 + \frac{\omega}{\pi \delta} \ln \frac{U_{P\max}}{U_G}. \tag{16}$$

Mit (9) und (10) ergibt sich unter Berücksichtigung von R_S und R_{Fe}

$$n = 1 + \frac{2}{\pi} \frac{\mathrm{Im}(\underline{Z}_P)}{\mathrm{Re}(\underline{Z}_P) + R_S + R_{Fe}} \ln \frac{U_{P\max}}{U_G}. \tag{17}$$

Zur Bewertung der Empfindlichkeit des Verfahrens „Zählung der Anzahl der Fensterdurchgänge n" wird der Quotient

$$\zeta_n = \frac{n_F}{n_0}; \quad 0 < \zeta_n \leqq 1$$

eingeführt. Wird der erste Summand in (17) vernachlässigt, kann mit den Näherungen im Abschn. 2.

$$\zeta_n \approx \frac{\omega_F \cdot B}{\omega_0 \left(1 + \frac{\omega w_E^2 \Lambda_{EE} A}{w_E R_W + R_S + R_{Fe}}\right)} \tag{18}$$

und

$$\zeta_n \approx \frac{1}{1 + \frac{\omega^2 w_E^2 \Lambda_{EE} (1-\sigma) \Lambda_{FF} \frac{w_F^2}{R_F}}{w_E R_W + R_S + R_{Fe}}}, \tag{19}$$

für kleine Fehlerparameter errechnet werden.

Somit ergibt sich, daß

- gleiche Forderungen zur Erzielung einer hohen Empfindlichkeit zu stellen sind wie beim Verfahren „Messung des Dämpfungsfaktors" und
- die Bewertungsquotienten ζ_δ und ζ_n gleiche Werte haben
- es möglich und zweckmäßig ist, die Verringerung der Anzahl der Fensterdurchgänge $\Delta n = n_0 - n_F$ infolge Isolierungsfehler als Maß für die Veränderung der Eigenschaften der Längsisolierung und damit für die digitale Erfassung von Teilentladungen in der Längsisolierung und von metallischen Verbindungen zwischen zwei Windungen zu benutzen.

Die Zählung der Fensterdurchgänge wird in einer mikroelektronischen Einrichtung vorgenommen und digital angezeigt [9]. Die digitale Anzeige ermöglicht die Erhöhung der Folgefrequenz der gedämpften Schwingung und den Einsatz des Prüfverfahrens in der Spulenstückprüfung.

4. Zusammenfassung

Ausgehend von einem bewährten Verfahren zur elektrischen Belastung der Windungsisolierung von Hochspannungsspulen elektrischer Maschinen wird nachgewiesen, daß der Dämpfungsfaktor der Spannung $u_p = f(t)$ am Prüfling den Meßwert eines empfindlichen Verfahrens zur Erfassung von Teilentladungen in der Längsisolierung und von Windungsschlüssen darstellt. Die Schwierigkeiten bei der Erfassung des Dämpfungsfaktors werden umgangen, indem ein digital ausgebbarer Wert, die Anzahl der Fensterdurchgänge, der in gesetzmäßigem Zusammenhang mit dem Dämpfungsfaktor steht, anstelle des Dämpfungsfaktors als Meßwert benutzt wird.

Literatur

[1] *Kahle, M.:* Alterung und Raumladung. 28. IWK, TH Ilmenau 1983, Heft 2, S. 103 – 107
[2] *Kahle, M.:* Beitrag zur Aufklärung des Festkörperdurchschlags. 25. IWK, TH Ilmenau 1980, Reihe A2, S. 3 – 7
[3] *Kränkel, D.; Schuler, R.:* Kontrolle der Windungsfestigkeit bei Spulenwicklungen rotierender Hochspannungsmaschinen. Brown Boveri Mitteilungen 57 (1970) 4, S. 191 – 196
[4] Taschenbuch Elektrotechnik. Hrsg.: *Philippow, E.*, Bd. 1, 1. Aufl., Berlin: VEB Verlag Technik 1976, S. 166
[5] *Müller, G.:* Elektrische Maschinen, Grundlagen, Aufbau und Wirkungsweise. 5. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1982
[6] *Linsel, K.-H.:* Prinzipien zur Windungsschlußerfassung an Kleinmaschinen. 28. IWK, TH Ilmenau 1983 (unveröffentlicht)
[7] *Klaus, R.:* Theoretische und experimentelle Überprüfung von Prinzipien zur Selektion von Windungsschlüssen, insbesondere in elektrischen Kleinmaschinen. Diss. A, TH Ilmenau 1980
[8] *Wetzel, U.:* Windungsschlußprüfgerät. Ingenieurpraktikumsarbeit, TH Ilmenau 1985
[9] *Porzel, R.; Linsel, K.-H.:* Isolationsprüfgerät für Hochspannungswicklungen elektrischer Maschinen. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 6

EA 5849

Neu auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1988:

Laserdrucker robotron EC 7230

Der Laserdrucker robotron EC 7230 arbeitet nach dem laser-xerografischen Verfahren und ist als Ausgabedrucker an ESER-Rechenanlagen für viele Anwender geeignet. Mit dem robotron EC 7230 steht erstmals innerhalb des ESER ein mit Normalpapier arbeitender Non-Impact-Drucker zur Verfügung. Das neue Wirkprinzip der Kontrasterzeugung ermöglicht neben einer entscheidenden Verbesserung der Druckqualität und weiterer wesentlicher Parameter, wie Zeichenvorrat und Variabilität, die Realisierung völlig neuartiger anwendungsseitig bedeutender Eigenschaften. So ist z. B. die Auswahl bzw. Veränderung des Zeichenvorrats mit Hilfe des Anwenderprogramms sowie die Aufzeichnung von quasi-grafischen oder ausgewählten polygrafischen Anforderungen genügenden Darstellungen möglich.

Die effektive Druckgeschwindigkeit des robotron EC 7230 beträgt 20 Blatt je Minute im Format A 4. Der Seitenaufbau für Normal- und Sparschrift ermöglicht es, auf einer A 4-Seite die gleiche Darstellung unterzubringen, für die ein elektromechanischer Paralleldrucker ein etwa um den Faktor 1,5 größeres Blatt benötigen würde.

Das breite Spektrum der neuartigen Eigenschaften erfordert einerseits einen unterschiedlichen Aufwand, ist andererseits aber nicht für jeden Einsatzfall in vollem Umfang erforderlich. Deshalb wird der Drucker robotron EC 7230 in mehreren Ausstattungsvarianten mit unterschiedlicher Leistungsfähigkeit realisiert.

Die Grundausstattung hat ein den elektromechanischen Paralleldruckern weitestgehend analoges systemtechnisches Verhalten und bietet damit für den Anwender einen einfachen Übergang zur Nutzung der erweiterten Möglichkeiten des Druckers.

Die Druckausgabe erfolgt seitenweise auf Einzelblätter im Format A 4. Es können geräteintern durch wiederholte Ausgabe bis zu 8 Exemplare von einer Seite erstellt werden. Durch die 3 Ablagefächer erfolgt bei einer Ausgabe von maximal 3 Exemplaren einer Seite eine vollständig sortierte Ablage.

Der konstruktive Aufbau wird hohen Ansprüchen gerecht und ermöglicht eine gute Zugänglichkeit zu allen Funktionsbaugruppen und deren Elementen und somit eine leichte Ausführung von Servicearbeiten. (Nach robotron-information.)

Rechnergestützte Impedanzberechnung trapezförmiger Rotorstäbe

G. Harcks, KDT, Eggesin

Die exakte Berechnung der frequenzabhängigen Impedanzen trapezförmiger Rotorstäbe von Kurzschlußwicklungen entsprechend Bild 1 mit dem Stabbreitenverhältnis

$$\beta = \frac{b_o}{b_u} \tag{1}$$

ist wegen der dazu erforderlichen Funktionswertermittlung von Bessel- und Hankelfunktionen mit komplexen Argumenten relativ aufwendig und daher nur mit Hilfe von moderner Rechentechnik und problemspezifischer Software effektiv durchführbar. Wenn die programmtechnische Umsetzung der Berechnungsalgorithmen in der Programmiersprache TURBO-PASCAL oder BASIC erfolgt, muß man die Beschränkung auf reelle Variable berücksichtigen.

1. Ermittlung der frequenzabhängigen Impedanzen trapezförmiger Rotorstäbe

Die allgemeingültige Gleichung zur Berechnung der komplexen Wechselstromimpedanz eines fest (unisoliert) in seiner Nut sitzenden Leiters lautet:

$$\underline{Z}_{stw} = l_{st}\,(K_{Rst}\, r_{stg} + \mathrm{j}\,\omega_2\,\mu_0\, K_{Lst}\,\lambda_{stg}). \tag{2}$$

Für den stromverdrängungsfreien Fall können die Ersatzschaltbildelemente des trapezförmigen Rotorstabes wie folgt berechnet werden:

$$r_{stg}\,(\beta \leqq 1) = \frac{2\,(1 + \alpha_{20}\,\Delta\,\vartheta_{st})}{b_u\, h_{st}\,\varkappa_{st}\,(1+\beta)}, \tag{3}$$

$$\lambda_{stg}\,(\beta < 1) = \frac{h_{st}\,u_0}{b_u\,(1-\beta)} = \frac{h_{st}}{b_u\,(1-\beta)\,(1-\beta^2)} \times \left(\frac{1}{1-\beta^2}\ln\frac{1}{\beta} - \frac{3-\beta^2}{4}\right). \tag{4}$$

Mit Hilfe der Berechnungsgleichungen [1]

$$K_{Rst} = \frac{r_{stg}}{r_{stw}} = \Phi\,(\xi.\,\beta<1) = \xi^2\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right) v \geqq 1 \tag{5}$$

und

$$K_{Lst} = \frac{L_{stg}}{L_{stw}} = \frac{\lambda_{stg}}{\lambda_{stw}} = \psi\,(\xi, \beta<1) = \frac{u}{u_0} \leqq 1 \tag{6}$$

läßt sich die Wechselstromstabresistanz und der Stabstreuleitwert bei Wirkung der Stromverdrängung unter Verwendung von (3) und (4) ermitteln. Die mit (5) und (6) definierten Faktoren sind abhängig von der „reduzierten Leiterhöhe"

$$\xi = h_{st}\sqrt{\frac{\omega_2\,\mu_0\,\varkappa_{st}}{2\,(1+\alpha_{20}\,\Delta\,\vartheta_{st})}} = \frac{q}{\sqrt{2}}\,(1-\beta) \tag{7}$$

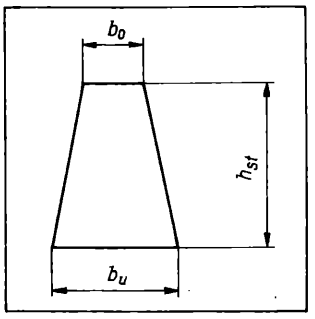
bzw. vom Argument q, vom Stabbreitenverhältnis β sowie von den Größen u und v. Der Ansatz

$$u + jv = \frac{1}{q\,\beta\sqrt{j}} \times \left(\frac{I_0(q\beta\sqrt{j})\,H_1^{(1)}(q\sqrt{j}) - H_0^{(1)}(q\beta\sqrt{j})\,I_1(q\sqrt{j})}{I_1(q\beta\sqrt{j})\,H_1^{(1)}(q\sqrt{j}) - H_1^{(1)}(q\beta\sqrt{j})\,I_1(q\sqrt{j})}\right) \tag{8}$$

dient nach [1] zur Bestimmung der in (5) und (6) enthaltenen u- und v-Werte. Führt man die der numerischen Auswertung von (8) mit reellen Variablen entsprechenden Hilfsgrößen

$$\begin{aligned} A_1 = {} & \mathrm{Re}\,\{I_0(q\beta\sqrt{j})\}\,\mathrm{Re}\,\{H_1^{(1)}(q\sqrt{j})\} - \mathrm{Im}\,\{I_0(q\beta\sqrt{j})\} \\ & \times \mathrm{Im}\,\{H_1^{(1)}(q\sqrt{j})\} \\ & - \mathrm{Re}\,\{H_0^{(1)}(q\beta\sqrt{j})\}\,\mathrm{Re}\,\{I_1(q\sqrt{j})\} \\ & + \mathrm{Im}\,\{H_0^{(1)}(q\beta\sqrt{j})\}\,\mathrm{Im}\,\{I_1(q\sqrt{j})\} \end{aligned} \tag{9}$$

Bild 1. Trapezstab



und

$$\begin{aligned} A_2 = {} & \mathrm{Re}\,\{\sqrt{j}\,I_1(q\beta\sqrt{j})\}\,\mathrm{Re}\,\{H_1^{(1)}(q\sqrt{j})\} - \mathrm{Im}\,\{\sqrt{j}\,I_1(q\beta\sqrt{j})\} \\ & \times \mathrm{Im}\,\{H_1^{(1)}(q\sqrt{j})\} - \mathrm{Re}\,\{\sqrt{j}\,H_1^{(1)}(q\beta\sqrt{j})\}\,\mathrm{Re}\,\{I_1(q\sqrt{j})\} \\ & + \mathrm{Im}\,\{\sqrt{j}\,H_1^{(1)}(q\beta\sqrt{j})\}\,\mathrm{Im}\,\{I_1(q\sqrt{j})\} \end{aligned} \tag{10}$$

und

$$\begin{aligned} B_1 = {} & \mathrm{Re}\,\{H_1^{(1)}(q\sqrt{j})\}\,\mathrm{Im}\,\{I_0(q\beta\sqrt{j})\} + \mathrm{Re}\,\{I_0(q\beta\sqrt{j})\} \\ & \times \mathrm{Im}\,\{H_1^{(1)}(q\sqrt{j})\} - \mathrm{Re}\,\{H_0^{(1)}(q\beta\sqrt{j})\}\,\mathrm{Im}\,\{I_1(q\sqrt{j})\} \\ & - \mathrm{Re}\,\{I_1(q\sqrt{j})\}\,\mathrm{Im}\,\{H_0^{(1)}(q\beta\sqrt{j})\} \end{aligned} \tag{11}$$

sowie

$$\begin{aligned} B_2 = {} & \mathrm{Re}\,\{H_1^{(1)}(q\sqrt{j})\}\,\mathrm{Im}\,\{\sqrt{j}\,I_1(q\beta\sqrt{j})\} + \mathrm{Re}\,\{\sqrt{j}\,I_1(q\beta\sqrt{j})\} \\ & \times \mathrm{Im}\,\{H_1^{(1)}(q\sqrt{j})\} - \mathrm{Re}\,\{I_1(q\sqrt{j})\}\,\mathrm{Im}\,\{\sqrt{j}H_1^{(1)}(q\beta\sqrt{j})\} \\ & - \mathrm{Re}\,\{\sqrt{j}H_1^{(1)}(q\beta\sqrt{j})\}\,\mathrm{Im}\,\{I_1(q\sqrt{j})\} \end{aligned} \tag{12}$$

ein, sind u und v folgendermaßen berechenbar:

$$u = \frac{A_1 A_2 + B_1 B_2}{q\,\beta\,(A_2^2 + B_2^2)}, \tag{13}$$

$$v = \frac{A_2 B_1 - A_1 B_2}{q\,\beta\,(A_2^2 + B_2^2)}. \tag{14}$$

2. Verwendung von Reihen zur Funktionswertermittlung

Zur Funktionswertberechnung der in (9) bis (12) enthaltenen Bessel- und Hankelfunktionen eignen sich die nachstehenden unendlichen Potenzreihen:

$$\sqrt{j}^{\,\nu}\,I_\nu(x\sqrt{j}) = \sum_{r=0}^{\infty}\frac{(-1)^r}{r!\,(\nu+r)!}\left(\frac{x}{2}\right)^{(\nu+2r)} j^{(\nu+r)}, \tag{15}$$

$$\sqrt{j}^{\,\nu}\,H_\nu^{(1)}(x\sqrt{j}) = \sqrt{j}^{\,\nu}\,I_\nu(x\sqrt{j})\left(\frac{1}{2} + \frac{2j}{\pi}\left(\ln x - (\ln 2 - \mathrm{EK}\right) - \frac{2-\nu}{2}\left(\sum_{s=1}^{r}\frac{1}{s} + \sum_{s=1}^{r+1}\frac{\nu}{s}\right)\right) - \frac{2\nu j}{\pi x} \tag{16}$$

$\nu = 0,\ 1;\ x = q$ bzw. $q\beta$; EK = 0,5772156649 (Eulersche Konstante).

Mit

$$\sqrt{j} = \mathrm{e}^{\frac{j\pi}{4}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\,(1+j) \tag{17}$$

erhält man folgende Gleichungen zur Real- und Imaginärteilermittlung:

$$\mathrm{Re}\,\{f(x\sqrt{j})\} = \frac{1}{\sqrt{2}}\,(\mathrm{Re}\,\{\sqrt{j}\,f(x\sqrt{j})\} + \mathrm{Im}\,\{\sqrt{j}\,f(x\sqrt{j})\}), \tag{18}$$

$$\mathrm{Im}\,\{f(x\sqrt{j})\} = \frac{1}{\sqrt{2}}\,(\mathrm{Im}\,\{\sqrt{j}\,f(x\sqrt{j})\} - \mathrm{Re}\,\{\sqrt{j}\,f(x\sqrt{j})\}). \tag{19}$$

Für $\sqrt{j}f(x\sqrt{j})$ kann wahlweise $\sqrt{j}\,H_1^{(1)}(x\sqrt{j})$ bzw. $\sqrt{j}\,I_1(x\sqrt{j})$ gesetzt werden.

3. Funktionswertberechnung mit Näherungsgleichungen

Bei der rechnergestützten Auswertung von (15) und (16) ist wegen der Operationen mit Fakultäten oder Potenzen großer x-Argumente eine Überschreitung des maximalen Zahlenwertes der Rechenanlage u. U. nicht auszuschließen, ohne daß das programmtechnisch definierte Abbruchkriterium dieser Reihen wirksam wird. In diesem Fall können die Bessel- und Hankelfunktionswerte mit asymptotischen Formeln berechnet werden [1] [2] [3]. Die in [2] angegebenen Ansätze zur Herleitung der asymptotischen Formeln lauten:

$$I_\nu(\underline{z}) = \sqrt{\frac{2}{\pi\,\underline{z}}}\,(P(\nu,\underline{z})\cos\chi - Q(\nu,\underline{z})\sin\chi), \quad |\underline{z}| \to \infty, \tag{20}$$

$$H_\nu^{(1)}(\underline{z}) = \sqrt{\frac{2}{\pi\,\underline{z}}}\,(P(\nu,\underline{z}) + jQ(\nu,\underline{z}))\,\mathrm{e}^{j\chi}, \tag{21}$$

Dr.-Ing. *Gerd Harcks* ist als Entwicklungsingenieur im Bereich Forschung und Entwicklung (AG Softwareentwicklung) des VEB Elektromotorenwerk Eggesin tätig. Zur Zeit der Themenbearbeitung war er wissenschaftlicher Assistent an der Ingenieurhochschule Wismar.

```
PROGRAM Impeda; { Copyright (c) 1986, 1987 by G. Harcks. All rights reserved. }
VAR x,p,q,beta,fac1,facprod,fre,rmax,ReFu,ImFu,ReakFu,ImakFu,s,u,u0,v,psi,exp1:REAL;
    maxnumber,multi[plier],A1,A2,B1,B2:REAL;turn,r,exp2,ny,i,ie,m:INTEGER;c,g:STRING[5];
    number1,number2:INTEGER;SRe,SIm : ARRAY[1..8] OF REAL;e : ARRAY[1..8] OF STRING[5];
    f : ARRAY[1..12] OF STRING[76];t : ARRAY[1..2,1..6] OF REAL;st:STRING[8];d,d1,d2:CHAR;
    a : ARRAY[1..2,1..6] OF STRING[8];lambetg,Lstg,Rstg:REAL;
CONST eps = 1E-06; EK = 5.772156649E-01;

PROCEDURE KeyCom; BEGIN gotoXY(15,2); write('Impedanzberechnung trapezfoermiger Rotor',
  'staebe');gotoXY(22,3);write('mit Bessel- u. Hankelfunktionen');gotoXY(4,4);write(
  '^T delete field   ^D right ^G delete pos.  ^S left ^V insert pos.');END;{#KeyCom#}

PROCEDURE ScrMask; BEGIN
  f[1]:='Stabtemp. >= 20 oC ! : _______ K    Laengenausdehnungak. : _______ grd-1';
  f[2]:='untere Stabbreite bu : _______ mm   obere Stabbreite bo  : _______ mm';
  f[3]:='Stabhoehe hst        : _______ mm   Stablaenge lst       : _______ mm';
  f[4]:='Anfangefrequenz fa   : _______ Hz   Endfrequenz fe       : _______ Hz';
  f[5]:='Schrittweite fs      : _______ Hz   Leitwert (Kappa)     : _______ Sm*mm-2';
  f[6]:='Mantisse der Maxzahl : _______      Exponent der Maxzahl : _______';
  f[7]:='Wahl der Naeherung near1 oder near2 ? ';f[8]:='Bessel- u. Hankelfunktions';
  f[8]:=f[8]+'werte drucken y/n ? ';f[9]:=' bo > oder = bu oder Theta < 20 oC';
  f[10]:='Daten korrigieren y/n ? ';f[11]:='Bitte warten ';f[12]:='Programm beenden y/n ? ';
  FOR i:=1 TO 6 DO  BEGIN gotoXY(4,2*i+4);writeln(f[i]);FOR m:=1 TO 2 DO a[m,i]:=''; END;
  gotoXY(16,20); write(f[8]); gotoXY(19,22); write(f[7]); END; { # ScrMask # }

PROCEDURE ScrKey; { screen AND keybord } label 1; BEGIN
  1:IF st='' THEN ny:=1 ELSE ny:=length(st); WHILE d2<>#13 DO { #13 FOR <CR> } BEGIN
    IF ny<=0 THEN ny:=1; IF ny>8 THEN ny:=8; gotoXY(27+37*(m-1),4+2*i); write('_______');
    gotoXY(27+37*(m-1),4+2*i); write(st); gotoXY(ny+26+37*(m-1),4+2*i); read(kbd,d2);
    IF (d2 in ['0'..'9']) OR ((d2='.') AND (pos('.',st)=0)) THEN BEGIN IF ny<length(st)
    THEN ny:=length(st); ny:=ny+1; st:=st+d2; END; IF d2 IN ['^T,^G,^V,^S,^D] THEN
    BEGIN CASE d2 OF ^T: BEGIN st:=''; ny:=1; END; ^S: ny:=ny-1; ^V: BEGIN read(kbd,d2);
    IF (d2 in ['0'..'9']) OR ((d2='.') AND (pos('.',st)=0)) THEN
    insert(d2,st,ny) ELSE END; ^D: BEGIN ny:=ny+1; IF ny>length(st) THEN ny:=length(st); END;
    ^G: BEGIN IF length(st)>=1 THEN delete(st,ny,1) ELSE ny:=1; END; END; END; val(st,exp1,r);
  IF st='' THEN d2:='.'; END; IF (exp1=0) AND ((i<=6) AND (i+m<8)) THEN BEGIN st:='';
  d2:=' '; goto 1; END ELSE a[m,i]:=st; t[m,i]:=exp1; END; {#ScrKey#}

PROCEDURE FacPot; BEGIN p:=1; IF ie<>0 THEN BEGIN FOR i:=1 TO ie DO BEGIN CASE m OF
  1:multi:=x/2; 2:multi:=-1; 3:multi:=i; END; p:=p*multi; END; END ELSE END; {#FacPot#}

PROCEDURE Rmaxi; { find rmax } BEGIN p:=1;ie:=1;WHILE c<>'ready' DO BEGIN
  IF maxnumber/p < ie THEN
  BEGIN rmax:=ie-1;c:='ready'; END ELSE BEGIN m:=3;ie:=ie+1;FacPot; END; END; END; {#Rmaxi#}

PROCEDURE Check;
BEGIN u:=2*sin(pi*exp2/2)+cos(pi*exp2/2);v:=2*sin(pi*(exp2+1)/2)+cos(pi*(exp2+1)/2);
  u:=round(u);v:=round(v);  IF (abs(u)=1) AND (abs(v)=2) THEN BEGIN ReFu:=A1*u*A2;
  ImFu:=B1*round(v/2)*A2;END ELSE BEGIN ReFu:=B1*v*A2;ImFu:=A1*round(u/2)*A2;END;END;{#Check#}

PROCEDURE Sum;
BEGIN B2:=0; IF ie<>0 THEN BEGIN FOR i:=1 TO ie DO B2:=B2+1/i; END ELSE END; {#Sum#}

PROCEDURE NEAR; { turn 1,3,5 : exp2:=ny; turn 2,4,6 : exp2:=1-ny }
BEGIN m:=2; ie:=turn+1; FacPot; exp2:=round((sin((1-p)*pi/4))+p*ny);
  u:=sqrt(2)*x; IF (u>ln(maxnumber)) AND (maxnumber<>1) THEN BEGIN gotoXY(25,18);
  write('Exponent zu groez !'); delay(4000); gotoXY(1,18); ClrEol; c:='ok';
  g:=''; END ELSE BEGIN v:=1-4*ny;
  ReakFu:=1+p*v/(8*u);ImakFu:=0; e[turn]:=g; IF g='near1' THEN BEGIN CASE turn OF
    1,3,5:BEGIN ReakFu:=ReakFu+(1-2*ny)*exp(-u)*sin(u)*(1-v*(1+cos(u)/sin(u))/(8*u));

        ImakFu:=v/(8*u)+(2*ny-1)*exp(-u)*cos(u)*(1-v*(1-sin(u)/cos(u))/(8*u)); END;
    2,4,6:ImakFu:=-v/(8*u); END; s:=p*arctan(ImakFu/ReakFu); END ELSE s:=v/(8*u);
  exp1:=x/sqrt(2)-s-p*(2*ny+1)*pi/8; A1:=cos(exp1); B1:=-p*sin(exp1);
  A2:=sqrt(2/(pi*x))*p*exp(p*x/sqrt(2))*sqrt(sqr(ReakFu)+sqr(ImakFu))*2/(3+p);
  Check; SRe[turn]:=ReFu; SIm[turn]:=ImFu; c:='ok'; END; END; {#NEAR#}

PROCEDURE LINE; BEGIN m:=2;ie:=turn;FacPot;A1:=2/(3+p); IF turn<3 THEN BEGIN ny:=0;
  x:=q*beta; END ELSE BEGIN ny:=1;x:=q*exp(round(4/(turn-1/A1))*ln(beta))/beta; END;
  number1:=r;number2:=ny+r;exp1:=ny+2*r;
  IF (number1>rmax) OR (number2>rmax) OR (exp1*ln(x/2)>ln(maxnumber)) THEN NEAR
  ELSE BEGIN m:=3;ie:=number1;FacPot;fac1:=p;ie:=number2;FacPot;
    IF ln(fac1)+ln(p) > ln(maxnumber) THEN NEAR ELSE BEGIN CASE turn OF 1,3,5:B1:=0;
      2,4,6:BEGIN s:=0;FOR m:=1 TO ny+1 DO BEGIN ie:=r+ny*(m-1);Sum;s:=s+B2; END;
            B1:=2*(ln(x)-(ln(2)-EK)-(2-ny)*s/2)/pi; END; END;
      facprod:=fac1*p;m:=1;ie:=round(exp1);FacPot;A2:=p/facprod;m:=2;ie:=r;FacPot;A1:=p*A1;
      B1:=p*B1;exp2:=ny+r;Check;SRe[turn]:=SRe[turn]+ReFu;SIm[turn]:=SIm[turn]+ImFu;
      IF (abs(SRe[turn]-ReakFu)<=eps) AND (abs(SIm[turn]-ImakFu)<=eps) THEN
      BEGIN CASE turn OF 2,4,6:SIm[turn]:=SIm[turn]-2*ny/(pi*x); END; c:='ok';
      e[turn]:='line '; END ELSE BEGIN Reakfu:=SRe[turn];ImakFu:=SIm[turn];r:=r+1; END;
END; END; END; {#LINE#}

PROCEDURE ReFuImFu; BEGIN e[turn+2]:=e[turn]; SRe[turn+2]:=(SRe[turn]+SIm[turn])/sqrt(2);
  SIm[turn+2]:=(SIm[turn]-SRe[turn])/sqrt(2); END; {#ReFuImFu#}

PROCEDURE PrintInp; BEGIN writeln(lst,'',23,'PROTOKOLL IMPEDANZBERECHNUNG'); writeln(lst);
  writeln(lst,'',8,'Eingangsdaten :');writeln(lst);writeln(lst,'',8,'Theta: ',t[1,1],
  ' oC','',3,'alpha: ',t[2,1],' grd-1');writeln(lst,'',8,'bu   : ',t[1,2],' mm','',3,
  'bo   : ',t[2,2],' mm');writeln(lst,'',8,'hst  : ',t[1,3],' mm','',3,'lst  : ',t[2,3],
  ' mm');writeln(lst,'',8,'@stg : ',lambetg,'',6,'Kappa: ',t[2,5],' Sm*mm-2');
  writeln(lst,'',8,'Lstg : ',Lstg,' H','',4,'Rstg : ',Rstg,' Ohm');writeln(lst,'',8,
  'beta : ',beta);writeln(lst);writeln(lst,'',8,'Berechnungsergebnisse :');END; {#PrintInp#}

PROCEDURE Koeff; BEGIN FOR turn:=5 TO 6 DO ReFuImFu;
  A1:=SRe[1]*SRe[8]-SIm[1]*SIm[8]-SRe[2]*SRe[7]+SIm[2]*SIm[7];A2:=SRe[3]*SRe[8];
  A2:=A2-SIm[3]*SIm[8]-SRe[4]*SRe[7]+SIm[4]*SIm[7];B1:=SRe[8]*SIm[1]+SRe[1]*SIm[8];
  B1:=B1-SRe[2]*SIm[7]-SRe[7]*SIm[2];B2:=SRe[8]*SIm[3]+SRe[3]*SIm[8]-SRe[7]*SIm[4];
  B2:=B2-SRe[4]*SIm[7];exp1:=q*beta*(sqr(A2)+sqr(B2));u:=(A1*A2+B1*B2)/exp1;
  v:=(A2*B1-A1*B2)/exp1;p:=sqr(psi)*v*((1+beta)/(1-beta)); END; {#Koeff#}

PROCEDURE ExtraI; { extrainformation } BEGIN writeln(lst);
  f[1]:='I0(sqrt(j)x)';f[2]:='H2(sqrt(j)x)';f[3]:='sqrt(j)I1(sqrt(j)x)';f[5]:=f[3];
  f[4]:='sqrt(j)H1(sqrt(j)x)';f[6]:=f[4];f[7]:='I1(sqrt(j)x)';f[8]:='H1(sqrt(j)x)';
  writeln(lst,'',8,'********************** extrainformation **********************');
  FOR turn:=1 TO 8 DO BEGIN CASE turn OF 1,2,3,4:x:=q*beta;5,6,7,8:x:=q; END;
    writeln(lst);writeln(lst,'',12,'way  :  ',e[turn],'',14,'f    :  ',f[turn]);
    writeln(lst,'',12,'turn :  ',turn:2,'',18,'x    :  ',x);
    writeln(lst,'',12,'Re{f}: ',SRe[turn],'  Im{f}: ',SIm[turn]); END; writeln(lst);
  write(lst,'',8);FOR i:=1 TO 64 DO write(lst,'*');writeln(lst); END; {#ExtraI#}

PROCEDURE PrintOut; BEGIN writeln(lst);write(lst,'',8,'turn1-8: ');FOR i:=1 TO 8 DO
  write(lst,e[i],'; ');writeln(lst);writeln(lst,'',8,'fre. : ',fre,' Hz',
  '',9,'psi  : ',psi); writeln(lst,'',8,'Krst : ',p,'',12,'Klst : ',u/u0);
  writeln(lst,'',8,'Rstw : ',p*Rstg,' Ohm','',8,'Lstw : ',u*Lstg/u0,' H');c:='';
  writeln(lst,'',8,'Zstw : ',2*pi*fre*Lstg*u/u0,' Ohm'); END; {#PrintOut#}

BEGIN ClrScr; d1:=' '; g:=''; KeyCom; ScrMask;
  WHILE d1<>'y' DO BEGIN gotoXY(1,24);ClrEol;gotoXY(27,24);write(f[10]);d:=' ';c:='';
    FOR i:=1 TO 6 DO BEGIN FOR m:=1 TO 2 DO BEGIN d2:=' ';st:=a[m,i];ScrKey; END; END;
    IF (t[2,2]>=t[1,2]) OR (t[1,1]<20) THEN BEGIN gotoXY(22,18);write(f[9]);
    delay(4000); gotoXY(1,18); ClrEol; d1:=''; END ELSE BEGIN WHILE c<>'ok' DO BEGIN
      gotoXY(62,20);write('  ');gotoXY(62,20);read(kbd,d);gotoXY(62,20);write(d);
```

Bild 2. Programmlisting und Berechnungsprotokoll

```
    IF d in ['y','n'] THEN c:='ok' ELSE END; c:='';
    WHILE c<>'ok' DO BEGIN gotoXY(57,22);write('_____');gotoXY(57,22);g:='';d2:=' ';
    WHILE length(g)<5 DO BEGIN read(kbd,d2);IF d2=#13 THEN g:='    ' ELSE
    BEGIN g:=g+d2; END; gotoXY(57,22);write(g); END; d2:=' ';
    IF (g='near1') OR (g='near2') THEN c:='ok' ELSE END; gotoXY(51,24); read(kbd,d2);
    IF d2='y' THEN d1:='  ' ELSE BEGIN gotoXY(1,24);ClrEol;gotoXY(32,24);write(f[11]);
    beta:=t[2,2]/t[1,2]; maxnumber:=exp(ln(t[1,6])+t[2,6]*ln(10)); Rmaxi;
    fre:=t[1,4];u0:=(-ln(beta)/(1-sqr(beta))-(3-sqr(beta))/4)/(1-sqr(beta));
    lambetg:=u0*t[1,3]/(t[1,2]*(1-beta));Rstg:=2*t[2,3]*1.e-03*(1+t[2,1]*(t[1,1]-20));
    Lstg:=lambetg*4*pi*1.E-10*t[2,3];Rstg:=Rstg/(t[1,2]*t[1,3]*t[2,5]*(1+beta));PrintInp;
    REPEAT psi:=t[1,3]*sqrt((4*sqr(pi)*1.E-07*fre*t[2,5])/(1+t[2,1]*(t[1,1]-20)));
    q:=psi*sqrt(2)/(1-beta);turn:=1;
    WHILE turn <7 DO BEGIN SRe[turn]:=0;SIm[turn]:=0;r:=0;ReakFu:=0;ImakFu:=0;c:='';
    WHILE c<>'ok' DO LINE;turn:=turn+1;IF g='' THEN turn:=7;END;IF g='' THEN fre:=t[2,4]+1
    ELSE BEGIN Koeff; IF d='y' THEN ExtraI; PrintOut; fre:=fre+t[1,5]; END;
    UNTIL fre>t[2,4];gotoXY(1,24);ClrEol;gotoXY(27,24);write(f[12]);read(kbd,d1);
END; END; END; END. {#Impeda#}
```

PROTOKOLL IMPEDANZBERECHNUNG

```
Eingangsdaten :

Theta:   8.0000000000E+01 oC   alpha:   3.8640000000E-03 grd-1
bu   :   4.7500000000E+00 mm   bo   :   1.5000000000E+00 mm
hst  :   1.6500000000E+01 mm   lst  :   1.4600000000E+02 mm
@stg :   3.1314507880E+00      Kappa:   2.8000000000E+01 Sm*mm-2
Lstg :   5.7452417898E-07 H    Rstg :   1.2457048658E-04 Ohm
beta :   3.1578947368E-01

Berechnungsergebnisse :

turn1-8: line ; line ; line ; line ; near1; near1; near1; near1;
fre. :   2.0000000000E+03 Hz          psi  :   6.9900563199E+00
Krst :   1.2557787761E+01             Klst :   2.4788341411E-01
Rstw :   1.5643297318E-03 Ohm         Lstw :   1.4241501498E-07 H
Zstw :   1.7896398592E-03 Ohm
```

mit

$$\chi = z - \left(\frac{\nu}{2} + \frac{1}{4}\right)\pi . \tag{22}$$

Verallgemeinert man die in [2] aufgeführten speziellen Gleichungen zur Ermittlung der Funktionswerte $P(\nu, z)$ und $Q(\nu, z)$, folgt:

$$P(\nu, z) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(2k)!\,(8z)^{2k}} \prod_{r=1}^{2k} (4\nu^2 - (2r-1)^2), \tag{23}$$

$$Q(\nu, z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(2k+1)!\,(8z)^{(2k+1)}} \prod_{r=1}^{2k+1} (4\nu^2 - (2r-1)^2). \tag{24}$$

Wird nur das erste Glied der mit (23) und (24) beschriebenen Reihen berücksichtigt, ergibt sich für $\nu = 0$ und $\nu = 1$:

$$\sqrt{j}^{\nu} I_{\nu}(x\sqrt{j}) = \frac{j^{\nu}\, e^{\frac{x}{\sqrt{2}}}}{\sqrt{2\pi x}} |\underline{Z}_{I\nu}| \exp\left\{-j\left(\frac{x}{\sqrt{2}} - \arctan\frac{\operatorname{Im}\{\underline{Z}_{I\nu}\}}{\operatorname{Re}\{\underline{Z}_{I\nu}\}} - \frac{(2\nu+1)\pi}{8}\right)\right\} \tag{25}$$

mit

$$\underline{Z}_{I\nu} = 1 + \frac{1-4\nu}{8\sqrt{2}\,x} + (1-2\nu)\, e^{-\sqrt{2}x} \sin(\sqrt{2}x)\left(1 - \frac{1-4\nu}{8\sqrt{2}\,x} \times \left(1 + \frac{\cos(\sqrt{2}x)}{\sin(\sqrt{2}x)}\right)\right) + j\left(\frac{1-4\nu}{8\sqrt{2}\,x} + (2\nu-1)\, e^{-\sqrt{2}x} \cos(\sqrt{2}x) \times \left(1 - \frac{1-4\nu}{8\sqrt{2}\,x}\left(1 - \frac{\sin(\sqrt{2}x)}{\cos(\sqrt{2}x)}\right)\right)\right) \tag{26}$$

und

$$\sqrt{j}^{\nu} H_{\nu}^{(1)}(x\sqrt{j}) = \frac{-2\,j^{(1-\nu)}\, e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}}}{\sqrt{2\pi x}} |\underline{Z}_{H\nu}| \exp\left\{j\left(\frac{x}{\sqrt{2}} + \arctan\frac{\operatorname{Im}\{\underline{Z}_{H\nu}\}}{\operatorname{Re}\{\underline{Z}_{H\nu}\}} + \frac{(2\nu+1)\pi}{8}\right)\right\} \tag{27}$$

mit

$$\underline{Z}_{H\nu} = 1 - \frac{1-4\nu}{8\sqrt{2}\,x}(1+j); \quad |\underline{Z}| = \sqrt{\operatorname{Re}\{\underline{Z}\}^2 + \operatorname{Im}\{\underline{Z}\}^2}. \tag{28}$$

Unter Verwendung der in [4] aufgeführten Näherungsformeln lassen sich (25) bis (28) für große x-Werte vereinfachen:

$$\sqrt{j}^{\nu} I_{\nu}(x\sqrt{j}) = \frac{j^{\nu}\, e^{\frac{x}{\sqrt{2}}}}{\sqrt{2\pi x}}\left(1 + \frac{1-4\nu}{8\sqrt{2}\,x}\right) \exp\left\{-j\left(\left(x - \frac{1-4\nu}{8x}\right)\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{(2\nu+1)\pi}{8}\right)\right\} \tag{29}$$

sowie

$$\sqrt{j}^{\nu} H_{\nu}^{(1)}(x\sqrt{j}) = \frac{-2\,j^{(1-\nu)}\, e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}}}{\sqrt{2\pi x}}\left(1 - \frac{1-4\nu}{8\sqrt{2}\,x}\right) \times \exp\left\{j\left(\left(x - \frac{1-4\nu}{8x}\right)\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{(2\nu+1)\pi}{8}\right)\right\}. \tag{30}$$

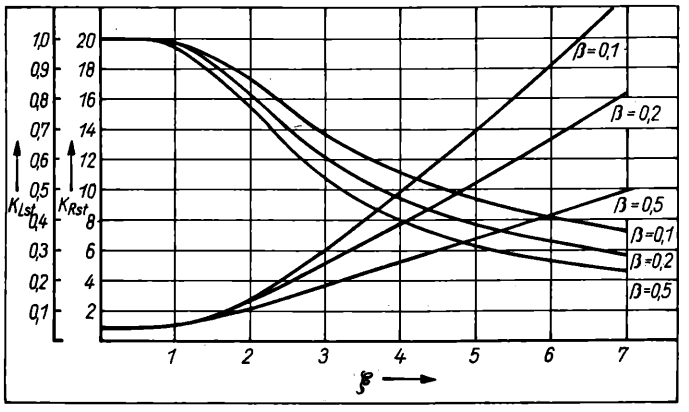


Bild 3. Darstellung $K_{Rst} = f(\xi)$ und $K_{Lst} = f(\xi)$ mit dem Stabbreitenverhältnis als Parameter

4. Rechenprogramm

Zur numerischen Auswertung der im Beitrag angegebenen Berechnungsbeziehungen eignet sich das im Bild 2 abgedruckte TURBO-PASCAL-Programm. Um eine geräteunabhängige Softwarenutzung zu gewährleisten, wurde bei der Programmentwicklung auf hardwarespezifische Steuerbefehle zur Bildschirmgestaltung, speziell auf die inverse bzw. intensivblinkende Zeichendarstellung und das Ein- und Ausblenden des Cursors, verzichtet. Das programmspezifische Konzept der stringorientierten Dateneingabe sieht zwingende Feldeintragungen vor, die mit ⟨CR⟩ abgeschlossen werden müssen. Das Dezimalkomma wird als Punkt dargestellt und kann einmal in der Ziffernzeichenkette stehen. Ein Dezimalkomma läßt sich nur in den Ziffernstring einfügen, wenn der String kein Komma enthält bzw. ein vorhandenes Komma zuvor gelöscht wurde. Erläuterungen der Editier- und Cursorsteuerbefehle stehen als Hilfsschirm über den Eingabefeldern. Mit Ausnahme des Exponentenfeldes der maximal vom Rechner verarbeitbaren Zahl ist die Null als Wert numerischer Felder nicht zugelassen. Die Berechnung der Bessel- und Hankelfunktionswerte erfolgt standardmäßig mit Reihen (Procedure „LINE" entsprechend (15) und (16)) bzw. bei Überschreitung des maximalen Zahlenwertes der Rechenanlage mit Hilfe der asymptotischen Formeln (Procedure „NEAR"). Durch Eingabe der Zahl Eins als Maxnumber wird eine gezielte Aktivierung der Programmprocedure „NEAR" erreicht. Dabei ist zu beachten, daß der in dieser Procedure durchgeführte Test eine Zahlenbereichsüberschreitung nicht verhindert. Das Druckprotokoll enthält außer den Berechnungsergebnissen die Information, welche Berechnungsbeziehungen (line bzw. near1 oder near2) zur Ermittlung der Hankel- und Beselfunktionswerte bei der Programmabarbeitung benutzt wurden.

5. Zusammenfassung

Die praktische Umsetzung der im Beitrag aufgeführten Berechnungsbeziehungen in problemspezifische Software ermöglicht eine effektive Ermittlung der frequenzabhängigen Ersatzschaltbildelemente trapezförmiger Rotorstäbe von Kurzschlußwicklungen. Der Entwurf, die Vorausberechnung des Betriebsverhaltens, die Projektierung und lebensdauerorientierte Auswahl leistungselektronisch gestellter Asynchronmaschinen mit trapezförmigen Rotorstäben kann somit unterstützt werden. Im Bild 2 ist das Berechnungsprotokoll für einen Punkt der in [5] veröffentlichten Widerstandsfaktorkennlinien angegeben. Die berechneten Kennlinien $K_{Rst} = f(\xi)$ und $K_{Lst} = f(\xi)$, mit dem Stabbreitenverhältnis $\beta = 0{,}1$, 0,2 und 0,5 als Parameter, wurden im Bild 3 grafisch dargestellt und sind identisch mit den in [1] ermittelten Kurvenverläufen der Widerstandsfaktoren.

Literatur

[1] *Laible, Th.:* Stromverdrängung in Nutleitern von trapezförmigen und dreieckigem Querschnitt. Archiv für Elektrotechnik 27 (1933), S. 558–566

[2] *Abramoviza, A. M.; Stigan, I.:* Spravočnik po spezialnim Funkzijam. Moskau: Nauka 1979

[3] *Jahnke, E.; Emde, F.:* Tafeln höherer Funktionen. Leipzig: B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1960

[4] *Bartsch, H.-J.:* Mathematische Formeln. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1977, S. 405

[5] *Harcks, G.:* Praktikable Frequenzgangbestimmung der Läuferstabstromverdrängungsfaktoren von Asynchronmaschinen mit Kurzschlußkäfig. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 7, S. 259–262

EA 5911

Rechnergestützte Auswahl des mechanischen Übertragungselementes von VEM-Standardmotoren

H. Halle, KDT; G. Großhans, KDT; Dresden

Eine aktuelle Tendenz auf dem internationalen Markt ist die Bereitstellung von Projektierungs-Software durch Antriebshersteller, um damit dem Anwender eine optimale, einsatzgerechte Auswahl von Antriebskomponenten zu ermöglichen. Der VEB Kombinat Elektromaschinenbau hat diese Tendenz durch das Angebot der Software „VEM-Prodrive" wesentlich geprägt.

Mit dem Softwarepaket „VEM-Prodrive M" wird das bereits vorliegende Softwarepaket „VEM-Prodrive A", das die rechnergestützte Typenleistungsauswahl bei VEM-Standardmotoren realisiert, auf die Auswahl des mechanischen Übertragungselementes erweitert. Dabei erfolgt eine Kontrolle der Zulässigkeit des gewählten Übertragungselementes hinsichtlich der auftretenden Wellen- und Lagerbelastung.

Die Software „VEM-Prodrive M" wurde für 8- und 16-bit-Personalcomputer erarbeitet. Sie bezieht sich auf VEM-Standardmotoren der Reihen KMR, KMER, KPR und KPER in der Standardausführung mit Kurzschlußläufer, Schutzgrad IP 44 und 54 und den Polzahlen 2, 4, 6 und 8.

Aus den Projektierungsanleitungen der Hersteller VEB Elektromotorenwerke Thurm und VEB Elektromotorenwerk Wernigerode, die nach wie vor ihre Gültigkeit haben, wurde die Auswahl der mechanischen Übertragungselemente und die Kontrolle der Wellen- und Lagerbelastung für die VEM-Standardmotoren rechnergestützt realisiert.

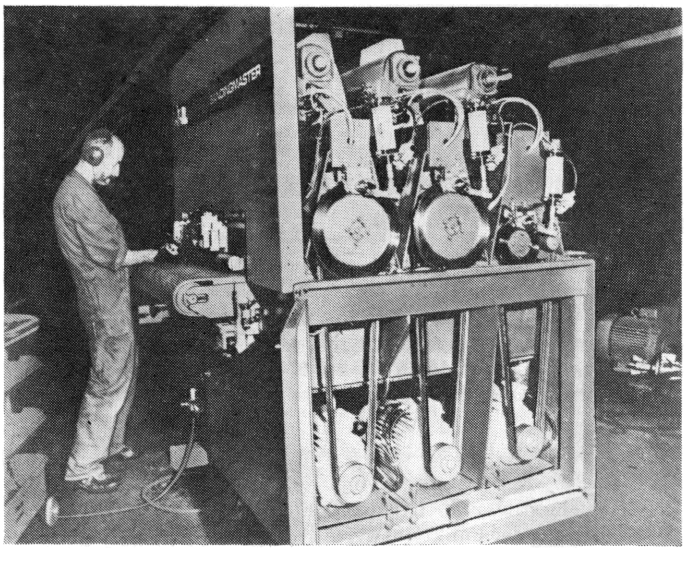
Die Kraftübertragung Motor — Arbeitsmaschine kann erfolgen durch:

— Riemenantrieb
— Zahnradantrieb
— Kettenantrieb
— Kupplungsantrieb.

Die zur Software gehörende Motordatei enthält die aktuellen Motorparameter, insbesondere die für die Welle und Lager zulässigen Radial- und Axialkräfte. Die kurzzeitige Nutzung von Entwicklungsreserven durch permanente Weiterentwicklung von VEM-Stan-

Dr.-Ing. *Hartmut Halle* ist Gruppenleiter Erzeugnisforschung; Ing. *Gertraud Großhans* ist Mitarbeiter im VEB Kombinat Elektromaschinenbau Dresden, DB Forschung und Entwicklung.

Bild 1. Kraftübertragung Motor — Arbeitsmaschine mit Keilriemen



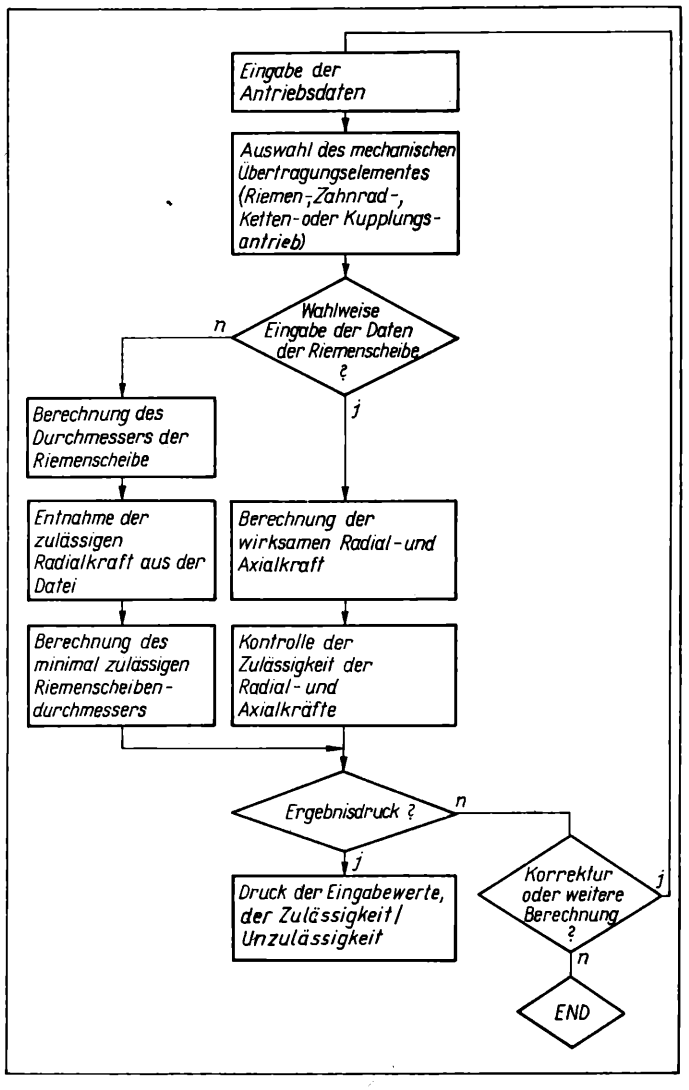


Bild 2. Grobablauf für Softwarepaket „VEM-Prodrive M" (am Beispiel „Riemenantrieb")

dardmotoren erfordert in gewissen Zeitabständen eine Aktualisierung dieser Motorparameter.
Für die Auswahl und Kontrolle der mechanischen Übertragungselemente müssen folgende Eingabewerte bereitgestellt werden:

Bild 3. Ergebnisdruck für Beispiel „Riemenantrieb"

```
Bearbeiter :
Telefon    :

    Kontrolle der mechanischen Uebertragungselemente
fuer die VEM-Drehstrom-Standardmotoren der Reihen M und P

Motortyp                              (-)    :  KMER 132 S 6
Nennleistung                          (kW)   :  3
Nenndrehzahl                          (1/min):  950
Kraftangriff                          (mm)   :  50
Einbaulage des Motors                 (-)    :  horizontal
Lagerung D-Seite                      (-)    :  Rillenkugellager
Uebertragungselement                  (-)    :  Riemenantrieb
Riemenart                             (-)    :  Keilriemen
Faktor fuer Riemenvorspannung         (-)    :  2.5
-------------------------------------------------------------

Die ermittelten Radial- und Axialkraefte betragen:

   -Radialkraft                          (N)    : 1670
   -Axialkraft                           (N)    :    0

minimal zulaessiger Durchmesser          (mm)   :  102
der Riemenscheibe

Fuer das gewaehlte Uebertragungselement

              ****************************************
              * Riemenantrieb                        *
              * Einbaulage des Motors: horizontal    *
              * Lagerung D-Seite: Rillenkugellager   *
              ****************************************

ist die Wellen- und Lagerbelastung  z u l a e s s i g
```

Stromrichter für Vorschubantriebe

S. Hoppe, KDT; Eisenach

Im Interesse eines hochautomatisierbaren, rationellen Fertigungsablaufs beim Anwender erfordern die Stellsysteme an Werkzeugmaschinen und Industrierobotern mit großem Innovationstempo eine immer leistungsfähigere Antriebstechnik. Ihren technisch-funktionellen Besonderheiten entsprechend haben sich spezielle elektrische Vorschubantriebe herausgebildet, deren tragende Elemente werkzeugmaschinenspezifische und roboterspezifische Stellmotoren sowie darauf abgestimmte Umkehrstromrichter sind. Sie haben eine Vielzahl von Forderungen zu erfüllen, die sich aus der technologischen Ausrichtung der Maschine aber auch aus dem Betriebsverhalten des Motors und der Steuereinheit ergeben. Ihre Leistungsfähigkeit wird durch das Angebot moderner Bauelemente der Mikro- und der Energieelektronik bestimmt.

1. Anforderungen an Vorschubantriebe

Vorschubantriebe werden dort benötigt, wo Maschinenteile in Achsen translatorisch zu verschieben oder um Achsen zu verdrehen sind. Man spricht auch von Stell-, Servo- oder Achsantrieben. Die folgenden Betrachtungen konzentrieren sich auf Anwendungen bei Werkzeugmaschinen. Für moderne hochproduktive Werkzeugmaschinen, insbesondere solche mit numerischer Steuerung, hat sich der Einzelantrieb der Achsen durchgesetzt. Damit treten Vorschubantriebssysteme an einer Maschine mehrfach auf. Sie müssen also in großen Stückzahlen zur Verfügung stehen und haben folgende Forderungen zu erfüllen:

— Kontinuierliche Steuerbarkeit im Motor- und Bremsbetrieb für beide Bewegungs- bzw. Drehrichtungen, d. h. über alle 4 Quadranten des Drehzahl-Drehmoment-Kennlinienfeldes.
— In geringstmöglichen Zeitverzögerungen nach Vorliegen des Steuerbefehls müssen kurzzeitig große Vorschubkräfte bzw. Drehmomente zur Verfügung stehen, um schnelle Bewegungsänderungen (Beschleunigen, Bremsen, Reversieren) erreichen zu können. Man spricht von hoher Dynamik des Vorschubantriebes.
— Im Rahmen der ständigen Leistungssteigerung im Werkzeugmaschinenbau werden auch für den Vorschubantrieb verhältnismäßig große Dauerdrehmomente erwartet.
— Die Forderung nach kurzen Leerzeiten und genauem Positionieren erfordert hohe Eilgangs- und geringste Kriechgeschwindigkeiten, also einen sehr großen Geschwindigkeits- bzw. Drehzahlstellbereich.
— Die Bearbeitungsgenauigkeit erfordert, daß die Antriebe in Drehzahl- und Lageregelkreisen arbeiten können.
— Zum Erreichen einer gleichbleibenden Oberflächenqualität am Werkstück sind ein weitgehend schwingungsfreier Betrieb bei Über-

Dipl.-Ing. *Sigurd Hoppe* ist Abteilungsleiter Entwicklung im VEB Numerik „Karl Marx", Werk Elektroschaltgeräte Eisenach

Der Aufsatz entstand mit Unterstützung durch das Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaus Karl-Marx-Stadt (Dr. Ing. *H. Gräf*, Obering. *W. Winkler*) und den VEB Numerik „Karl Marx" Karl-Marx-Stadt (Ing. *K. Haberland*). Er ist ein Beitrag zur 5. Fachtagung „Leistungselektronik" des FUA 1.10 der KDT am 17. und 18. Mai 1988 in Leipzig.

— Motortyp
— Angaben zum ausgewählten Übertragungselement.

Die Eingabe wird im Dialog zwischen Nutzer und Personalcomputer vorgenommen.
Als Ergebnis der Berechnung steht dem Nutzer eine Aussage über die Zulässigkeit des gewählten Übertragungselementes für die vorliegenden Einsatzbedingungen bzw. bei Riemenantrieb wahlweise auch der minimal zulässige Riemenscheibendurchmesser zur Verfügung.
Ist die Wellen- und Lagerbelastung unzulässig, werden Vorschläge für eine neue Auslegung unterbreitet.

EA 5913

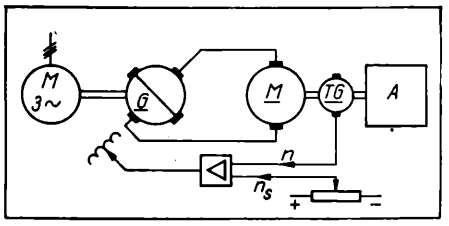


Bild 1. Gleichstromvorschubantrieb mit Amplidyne
G Querfeldverstärkermaschine Amplidyne
TG Tachogenerator
A Vorschubsystem (Achse)
n_s Drehzahlsollwert
n Drehzahlistwert

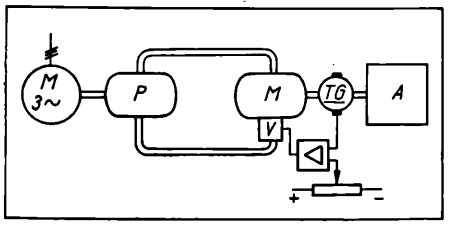


Bild 2. Hydraulikvorschubantrieb
P Hydraulikpumpe
M Axialkolbenmotor
V elektrohydraulisches Servoventil

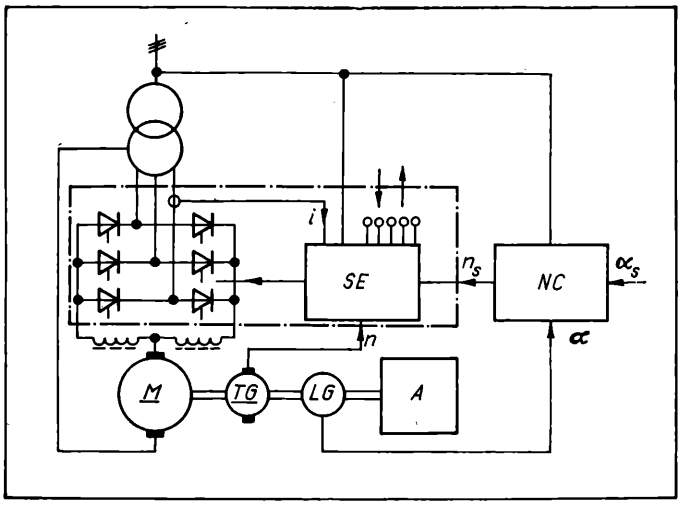


Bild 3. Gleichstromvorschubantrieb mit Thyristorumkehrstromrichter in Dreipulsmittelpunktschaltung
SE Stromrichterelektronik
i Stromistwert
LG Lagegeber
α_s Lagesollwert
α Lageistwert

gangsvorgängen und eine ausreichende Gleichförmigkeit der Bewegung bei stationärem Lauf in allen Drehzahlbereichen (gute Rundlaufeigenschaften) erforderlich.
— Die allgemeingültigen Forderungen nach hoher Zuverlässigkeit, geringer Masse, geringem Volumen, einfacher Inbetriebnahme und servicefreundlichem Aufbau haben natürlich auch Vorschubantriebe zu erfüllen, denn das sind wichtige Verkaufsargumente für die Werkzeugmaschine insgesamt.

Wie bei den meisten technischen Problemen stellt auch in der Antriebstechnik die vom Ingenieur angebotene Lösung einen Kompromiß zwischen den gestellten Forderungen und den entwicklungsbedingten materiell-technischen Möglichkeiten dar. So wurden Vorschubantriebe im Sinne der genannten Kriterien in der DDR etwa ab 1965 mit den trägheitsarmen, permanenterregten Gleichstromstellmotoren der Baureihe GSM (0,16 bis 1,6 kW) möglich. Als Stellglieder wurden dazu Umformersätze mit Querfeldverstärkermaschinen Amplidyne der Baureihe DGA (1,0 bis 5,5 kW) verwendet. Die Prinzipdarstellung eines solchen Antriebssystems mit Drehzahlregelung ist aus Bild 1 zu ersehen.
Es ist interessant, daß es aus dem Bereich der Elektroindustrie dafür zunächst keine Ablösung gab, wodurch als folgende Generation die hydraulischen Vorschubantriebe ab 1968 Bedeutung erlangten (Bild 2). Immerhin ermöglichten sie, mit 160 mW Steuerleistung über das elektrohydraulische Servoventil einen Axialkolbenmotor von 4 kW/40 Nm im Drehzahlbereich 2 bis 1500 min^{-1} zu regeln. Für langsamere Vorschubantriebe wurde diese Technik zu elektrohydraulischen Schrittantrieben weiterentwickelt, bei denen ein elektrischer Schrittmotor über ein Rotationsservoventil einen Axialkolbenmotor steuerte.
Daß der weitgehend verschleißfreie Stromrichter mit seiner nahezu verzögerungslosen Wirkungsweise zunächst nicht die dominierende Rolle spielte, lag zu einem wesentlichen Teil am Fehlen eines geeigneten Elektromotors. So waren es neben den modernen elektronischen Bauelementen schließlich auch die Fortschritte im Elektromaschinenbau, die mit dem Erscheinen des permanenterregten werkzeugmaschinenspezifischen Gleichstrom-Servomotors dem Halbleiterstromrichter als Stellglied für hochdynamische Vorschubantriebe zum Durchbruch verhalfen.
Hier bewährte sich eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Werkzeugmaschinenbau, dem Elektromaschinenbau sowie den steuerungs- und stromrichterherstellenden Betrieben der DDR bei der Realisierung von Antrieben mit Thyristor- und Transistorstellgliedern auf Grundlage der Motorenreihen WSM 1 (1,7 bis 47 Nm), die ab 1975 in Großserie zur Verfügung stand.

2. Stromrichter als Stellglied für Vorschubantriebe

Bei einem Vorschubantrieb hat der Stromrichter den Energiefluß zwischen dem speisenden Netz und dem Motor sowie den Informationsfluß zwischen der Maschinensteuerung (einfacher Sollwertgeber, PC, NC, CNC) und der angetriebenen Achse sicherzustellen. Er hat also im Zusammenwirken mit diesen Komponenten die von der Werkzeugmaschine ausgehenden technologischen Forderungen zu erfüllen und muß außerdem an die Besonderheiten des Netzes, des Motors, der Meßsysteme, der Steuerung und verschiedener peripherer Hilfseinrichtungen angepaßt sein. Im Bild 3 ist die Anordnung des Stromrichters (strichpunktierte Einrahmung) in dem Gesamtsystem am Beispiel eines Gleichstromvorschubantriebes mit NC-Steuerung prinzipiell dargestellt.
Im Laufe der Entwicklung haben sich bestimmte charakteristische Merkmale ergeben, die sich bei den verschiedenen in Produktion und in Vorbereitung befindlichen Stromrichtern für Vorschubantriebe wiederholen, auch wenn sie teilweise mit unterschiedlichen schaltungstechnischen Mitteln realisiert werden.
Das Leistungsteil ist immer eine Umkehrschaltung, bestehend aus modernen Halbleiter-Leistungsbauelementen, mit Schutzmaßnahmen gegen Überspannungen. Im Leistungskreis ist die Stromistwerterfassung angeordnet, im allgemeinen nach dem Prinzip des Stromwandlers. Zur Anpassung von Netz- und Motorspannung dient meistens ein Stromrichtertransformator, der außerhalb des Gerätes anzubringen ist.
Die Stromrichterelektronik enthält die zentrale Stromversorgung sowie die Ansteuereinrichtung für die Leistungsbauelemente und die Regeleinrichtung für Drehzahl und Strom, darüber hinaus

- Überwachungsschaltungen für wichtige Betriebsgrößen und -zustände z. B. Versorgungsspannung, Kühlkörpertemperatur, Maximalstrom, Tacholeitungsbruch
- Fehlerdiagnoseschaltungen und Fehleranzeigeschaltungen
- Stromrichtersperre und Reglerkurzschluß, intern und extern zugänglich
- Strombegrenzungsschaltungen für stationären Betrieb und für Übergangsvorgänge
- Funktionsgeber für den Sollwert, z. B. eine Rampe
- Filter zur Bedämpfung von achs- bzw. maschinentypischen Systemschwingungen
- Meßverstärker zur externen Nutzung des Strom- und des Drehzahlistwertes
- Ausgabe von Signalen zur Kopplung bzw. Verriegelung mit der übergeordneten Steuerung
- Anschlußmöglichkeit für ein Inbetriebnahme-/Servicegerät.

Neben diesen Gemeinsamkeiten gibt es natürlich markante Unterschiede zwischen Thyristor- und Transistorstromrichtern sowie zwischen Stellgliedern für Gleichstrom- und für Drehstromantriebe.

3. Thyristorstromrichter für Gleichstromvorschubantriebe

Nach den bereits erwähnten Vorläufern mit Amplidyne und Hydraulikeinrichtungen, die man international noch durch Magnetverstärker und Thyratronschaltungen ergänzen könnte, wurde die eigentliche Entwicklung der modernen Vorschubantriebe mit dem Thyristorumkehrstromrichter in kreisstrombehafteter Dreipuls-Mittelpunktschaltung als Stellglied für den Gleichstromservomotor begonnen. Er ist im Bild 3 dargestellt.
Wegen der zunächst noch recht hohen Halbleiterpreise und aus Interesse an einer möglichst einfachen Elektronik wurde diese Schal-

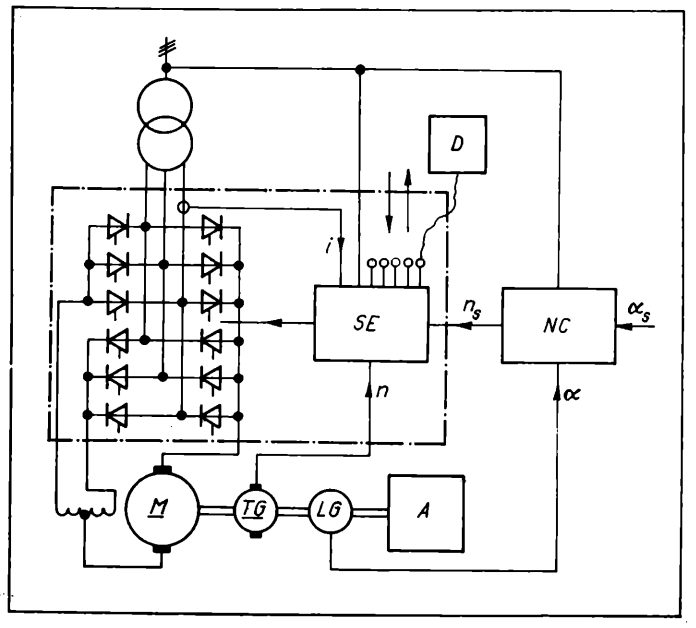


Bild 4. Gleichstromvorschubantrieb mit Thyristorumkehrstromrichter in Sechspuls-Brückenschaltung
D Diagnose- und Servicehilfsgerät

tung mit ihrem geringen Bauelementeaufwand bevorzugt, dennoch hat sie die dem Fachmann bekannten guten dynamischen Eigenschaften. Die verhältnismäßig große Welligkeit des Gleichstromes mit einer Grundfrequenz von 150 Hz mußte man dabei in Kauf nehmen, auch den Aufwand für die zwei Drosseln im Gleichstromkreis, die der Begrenzung des funktionsbedingten Kurzschlußstromes (Kreisstromes) zwischen den beiden Stromrichtergruppen dienen.
Als Leistungsbauelemente werden Einschraubthyristoren ohne besondere dynamische Anforderungen eingesetzt. Die Stromrichterelektronik enthält neben den üblichen diskreten Bauelementen Operationsverstärker für die analoge Signalverarbeitung sowie einfache digitale Schaltkreise zur Erzeugung der Steuerimpulse und für logische Verknüpfungen. Häufig wird auf eine direkte Stromerfassung verzichtet. Es gibt dann keine Stromregelung, sondern der jeweils zulässige Wert des Stroms ist durch eine Steuerwinkelbegrenzung beeinflußbar. Bei allem Bemühen um Einfachheit zeigen jedoch schon diese Stromrichter viele der im Abschn. 2. genannten charakteristischen Merkmale. Als typischer Vertreter ist ihnen der Umkehrstromrichter TUD 5 zuzurechnen, mit dem von 1975 bis etwa 1980 viele numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen in der DDR unter Verwendung der Stellmotorenreihe WSM 1 ausgerüstet wurden.
An dieser Stelle sei eine Besonderheit aller Stromrichter zur Speisung permanenterregter Gleichstromstellmotoren erwähnt. Diese Motoren haben weder Wendepole noch andere Kommutierungshilfen. Zur Vermeidung unzulässigen Kommutatorfeuers ist deshalb der Strom mit zunehmender Drehzahl etwa nach einer Hyperbelfunktion zu reduzieren. Das übernimmt in der Stromrichterelektronik eine Schaltung zur drehzahlabhängigen Strombegrenzung, mit deren Hilfe der Antrieb bestmöglich beschleunigt werden kann, ohne daß dabei die Kommutierungsgrenzkurve des Motors überschritten wird.
Schon bald ließen gesunkene Thyristorpreise und bedeutende Fortschritte in der Mikroelektronik auch für Vorschubantriebe den Umkehrstromrichter in kreisstromfreier Sechspuls-Brückenschaltung zu (Bild 4). Die Kreisstromdrosseln konnten entfallen. Die dem Produkt von Netzfrequenz und Pulszahl entsprechende Taktfrequenz des Stromrichters verdoppelt sich gegenüber der Dreipulsschaltung. Damit verbessert sich das dynamische Verhalten der Drehzahl- bzw. Stromregelung, die jetzt die Möglichkeit hat, in kürzeren Zeitabständen über das Leistungsteil auf den Antrieb einzuwirken. Sehr positiv wirkt sich die geringere und höherfrequente Welligkeit des Gleichstromes auf die Motorauslastung und auf die Oberflächenqualität des bearbeiteten Werkstücks aus.
Anfangs wurden noch Einzelthyristoren eingesetzt; z. Z. bestimmen Thyristormodule, bei denen jeweils 2 Thyristoren in Reihenschaltung zu einem Bauelement mit einer potentialfreien Kühlfläche zusammengefaßt sind, die Konstruktionen solcher Stellglieder. In der Stromrichterelektronik machen neuartige Bauelemente Schaltungen zur weiteren Verbesserung des Betriebsverhaltens der Stromrichter möglich, so daß sie den Anforderungen und charakteristischen Merkmalen der Vorschubantriebe immer genauer entsprechen. So werden zur Bildung, Beeinflussung und Verknüpfung der Steuerimpulse spezielle Thyristoransteuerschaltkreise (U 706, U 708) eingesetzt. Phasenregler, z. B. mit dem Schaltkreis A 290, bewirken eine weitgehend störungsfreie Synchronisation der Zündimpulse mit der Netzspannung. Neue Generationen von Operationsverstärkern vervollkommnen die Regler und Komparatoren. Optokoppler übernehmen vielfach die Aufgaben der Potentialtrennung.
Bei der komplizierter gewordenen Stromrichterelektronik erhalten extern anschließbare Diagnose- und Servicehilfsgeräte zur Vereinfachung der Inbetriebnahme und der Fehlersuche eine zunehmende Bedeutung (s. Bild 4).
Typische Vertreter dieser Sechspulsumkehrstromrichter in Werkzeugmaschinen der DDR sind ab 1979 der TUD 6 (Einzelthyristoren, Ansteuerschaltkreis U 706) und ab 1983 der TDR 700 (Thyristormodule, Ansteuerschaltkreis U 708). Sie werden hauptsächlich mit Stellmotoren der Baureihe WSM 2 betrieben. Obwohl in der Stromrichterelektronik des TDR 700 noch einige Sonderwünsche einzelner Anwender unberücksichtigt bleiben mußten, wurde bei dem vorgegebenen Bauvolumen eine Bauelementedichte auf den

Bild 5. Gleichstromvorschubantrieb mit Transistorpulssteller
ZL Zwischenkreislogik
VM Versorgungsmodul
AM Achsmodul

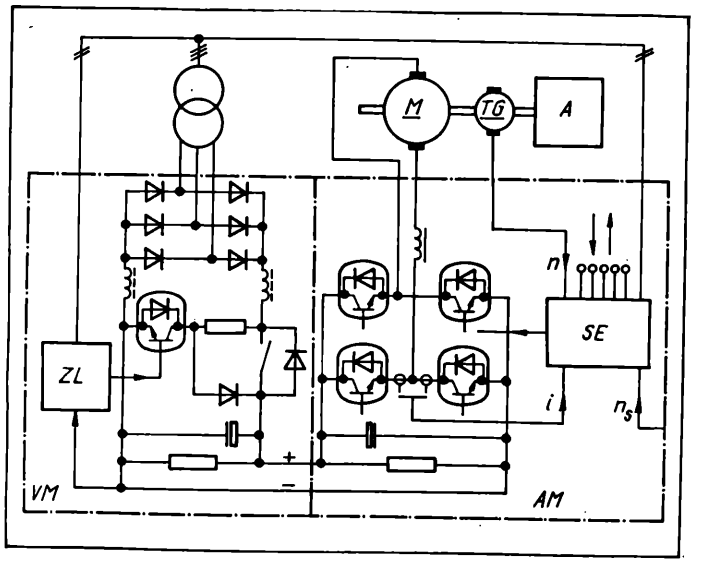
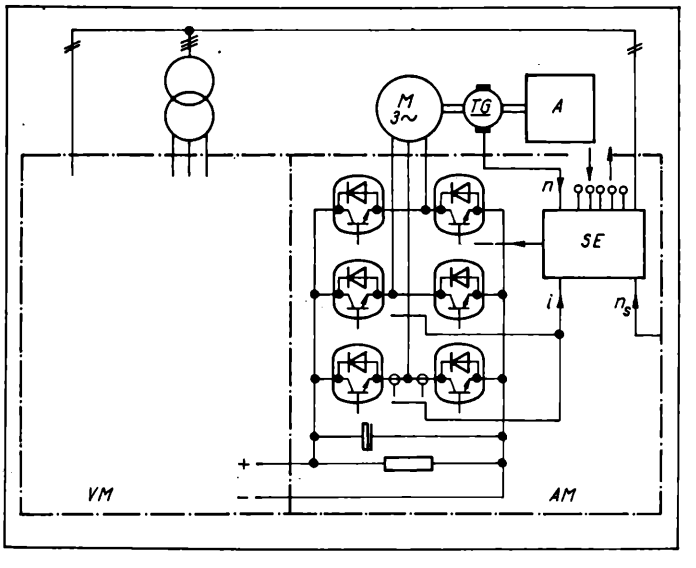


Bild 6. Drehstromvorschubantrieb mit Transistorfrequenzumrichter



Leiterplatten erreicht, die in ihrer Auswirkung auf die Fertigungstechnologie, auf den Service und auf die Zuverlässigkeit eine nicht mehr zu überschreitende Grenze darstellt.

4. Transistorstromrichter für Gleichstromvorschubantriebe

Eine weitere Verbesserung des Betriebsverhaltens von Vorschubantrieben mit Thyristorstromrichtern ist durch Erhöhung der Taktfrequenz in technisch/ökonomisch sinnvoller Weise nicht zu erreichen. Dazu bieten sich jedoch Stellglieder mit schnellen abschaltbaren Leistungsbauelementen an, z. B. mit Transistoren. Der Transistorpulssteller spielt im Schatten der Thyristorstromrichter bei Gleichstrom-Servoantrieben schon seit einigen Jahren eine gewisse Rolle, jedoch blieb beim bisherigen Angebot von Leistungstransistoren sein Einsatzgebiet auf kleine Typenleistungen beschränkt. So werden vom VEB Numerik Karl-Marx-Stadt die Transistorpulssteller TPS 20 A und TPS 32 A angeboten, mit denen Vorschubantriebe unter Verwendung von Motoren kleinerer Baugröße der Typenreihen GSM, WSM 1 und WSM 2 im Drehmomentbereich 0,3 bis 3,5 Nm aufgebaut werden können. Der Anwender dieser Stellglieder muß sich mit den verhältnismäßig geringen Spannungen der verwendeten Leistungstransistoren abfinden, und der Hersteller hat einen beträchtlichen Aufwand zu treiben, um durch Parallelschaltung der Leistungstransistoren (beim TPS 20 A 2 × KD 503, beim TPS 32 A 4 × KU 608) die erforderlichen Ströme garantieren zu können.

Die Fortschritte in der Halbleitertechnik machen die Herstellung immer leistungsfähigerer Transistoren möglich, so daß sie bezüglich der Strom- und Spannungsbelastbarkeit den Thyristoren des mittleren Leistungsbereiches (100 A/1000 V) bereits Konkurrenz zu machen beginnen. Inzwischen sind sogar Leistungstransistormodule mit potentialfreien Kühlflächen im Angebot, die den Belangen der Pulsstellertechnik gut angepaßt sind und günstige konstruktive Lösungen für den Stromrichtersatz ermöglichen. In der DDR sind das zunächst die Module der Baureihe SU 508/509/510 vom VEB MLS Stahnsdorf. Der SU 508 wird im Transistorpulssteller TPS 701 eingesetzt, der sich z. Z. im VEB Numerik in Entwicklung befindet.

Die Wirkungsweise eines Transistorpulsstellers für Vorschubantriebe läßt sich an der Prinzipdarstellung des TPS 701 nach Bild 5 erläutern. Aus dem Drehstromnetz wird über einen Anpaßtransformator und eine ungesteuerte Gleichrichterschaltung eine in Grenzen konstante Gleichspannung erzeugt, die durch große Kondensatoren gestützt wird. Dieser Gleichspannungsquelle, man nennt sie Gleichstromzwischenkreis, ist ein Umkehrstromrichter bestehend aus 4 Transistorschaltern nachgeschaltet. Die Transistorschalter werden aus der Stromrichterelektronik angesteuert und versorgen nach dem Prinzip der Pulsbreitensteuerung den Gleichstrommotor mit der vom Antrieb für den jeweiligen Betriebszustand geforderten veränderlichen Spannung. Infolge der hohen Taktfrequenz von etwa 2,5 kHz wird der Strom im Ankerkreis unter Wirkung der Induktivitäten und Freilaufdioden sehr gut geglättet. Beim Bremsen wird Energie in den Zwischenkreis zurückgespeist. Steigt dabei die Spannung an den Kondensatoren auf einen bestimmten Wert, wird ein niederohmiger Widerstand mit Hilfe des einzelnen Transistorschalters, er wird Bremschopper genannt, über die Zwischenkreislogik ZL zur Übernahme der Bremsenergie eingeschaltet. Dieser Widerstand erfüllt eine Doppelfunktion, denn er begrenzt beim Einschalten des Zwischenkreises auch den Ladestrom der Kondensatoren, wozu der Schützkontakt zunächst noch geöffnet ist. Die hochohmigen Widerstände über den Kondensatoren dienen der Kondensatorentladung nach dem Abschalten des Zwischenkreises, um bei Eingriffen gefährliche Berührungsspannungen zu vermeiden.

Der TPS 701 ist modular aufgebaut. Der Zwischenkreis wird konstruktiv als sogenannter Versorgungsmodul VM gestaltet und der eigentliche Pulssteller als sogenannter Achsmodul AM. Je nach dem Leistungsbedarf der zu speisenden Motoren können bis zu 4 Achsmodule an einen Versorgungsmodul angeschlossen werden. Dieser Stromrichter ist zur Anwendung mit Servomotoren der Baureihen RSM und WSM 3 im Drehmomentenbereich 0,6 bis 11 Nm vorgesehen. Die Stromrichterelektronik erfüllt die bekannten Merkmale für Vorschubantriebe. Ihre bestimmenden Bauelemente sind Leistungstransistoransteuerschaltkreise B 4002 von VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder).

5. Ausblick auf die weitere Entwicklung

Auf Grundlage der bewährten Technik, insbesondere der Motoren, werden Gleichstromstellantriebe in der praktischen Anwendung noch

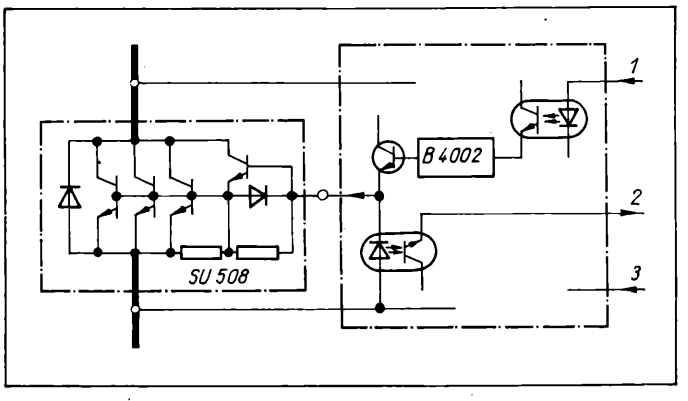


Bild 7. Transistorschalter mit Leistungstransistormodul vom Typ SU 508 und Ansteuerelektronik
1 Steuersignal
2 Überwachungssignal
3 Stromversorgung

für die nächsten 10 Jahre von Bedeutung sein. Dabei wird der Thyristorumkehrstromrichter mehr und mehr auf den Bereich der größeren Drehmomente ab 35 Nm durch den Transistorpulssteller verdrängt werden. Die dazugehörige Stromrichterelektronik wird steigende Forderungen bezüglich Zuverlässigkeit und Funktionsinhalt zu erfüllen haben. Das ist bei zunächst weiterbestehender analoger Signalverarbeitung nur durch Zusammenfassung von Schaltungsdetails zu integrierten Bauelementen, z. B. Hybridschaltkreisen, und durch Anwendung der SMD-Technik für die elektronischen Baugruppen möglich. Schließlich wird sich die durchgehend digitale Signalverarbeitung mit Mikroprozessor- und Speicherschaltkreisen durchsetzen.

Drehstromantriebe beginnen auch bei Vorschubsystemen von Werkzeugmaschinen Bedeutung zu erlangen. Dabei ist der Kombination aus Transistorfrequenzumrichter und speziellem Asynchronstellmotor die größte Chance einzuräumen. Aus Bild 6 wird deutlich, wie aus den Baugruppen eines Transistorpulsstellers mit Gleichstromausgang verhältnismäßig einfach ein Transistorfrequenzumrichter mit Drehstromausgang aufzubauen ist. Dessen komplizierte Stromrichterelektronik ist allerdings nur mit einem Rechnerkern technisch sinnvoll zu realisieren.

Zur Erläuterung der in den Bildern 5 und 6 verwendeten Symbole ist im Bild 7 ein Transistorschalter am Beispiel eines Moduls SU 508 mit der prinzipiellen Darstellung wichtiger Bauelemente der Ansteuer- und Überwachungselektronik ausführlicher wiedergegeben. Der Transistormodul ist als Darlingtonschaltung unter Verwendung von 3 parallelgeschalteten Chips für den Haupttransistor und mit integrierter Freilaufdiode aufgebaut. Für die künftige Entwicklung dieses Zweigs der Stromrichtertechnik wird es neben der Erhöhung der Strombelastbarkeit von Bedeutung sein, wenn auch die Ansteuer- und Überwachungselektronik noch im Modulgehäuse untergebracht oder als aufsteckbare Baugruppe von der Bauelementeindustrie geliefert werden kann.

EA 5899

Zielgerichtet CAD anzuwenden ist eine der wichtigsten Aufgaben für viele Ingenieure. Eine praktische Hilfe dabei ist das soeben erschienene Fachbuch

CAD — Einführung und Anwendung

Von Dr. sc. techn. Siegfried Schönfeld und Dr. sc. techn. Manfred Vogel. 144 Seiten, 60 Bilder, 42 Tafeln, Pappband, DDR 15,— M, Ausland 25,— DM. Im Fachbuchhandel erhältlich. Bestellangaben: 5537055/Schönfeld, CAD-Einführung

Dieses Buch soll den in der Praxis tätigen Ingenieur ein aktueller Leitfaden sein, um die Anwendung von CAD gut vorzubereiten und effektiv zu gestalten. Außerdem werden Erfahrungen bei der Programmentwicklung vermittelt und Einsatzgebiete von CAD vorgestellt.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Digitale Simulation von Asynchronmotoren mit Hochstabläufer im dynamischen Betrieb

U. Beckert; W. Neuber; Freiberg

Mitteilung aus der Bergakademie Freiberg, Wissenschaftsbereich Elektrotechnik

Für eine Vielzahl praktisch wichtiger Probleme sind Kenntnisse der dynamischen Eigenschaften des Asynchronmotors erforderlich. Im dynamischen Betrieb kann die Läuferwinkelgeschwindigkeit nicht mehr als konstant vorausgesetzt werden. Die Spannungsdifferentialgleichungen für die Ständer- und Läuferwicklungen werden dadurch nichtlinear und gelten nicht mehr unabhängig von den Bewegungsdifferentialgleichungen des mechanischen Systems.
Bei großen Käfigläuferasynchronmotoren wird die einseitige Stromverdrängung in den Läuferstäben zur Verbesserung der Anlaufeigenschaften ausgenutzt. Sie werden deshalb meistens als Hochstabläufer ausgeführt. Hier versagt im dynamischen Betrieb darüber hinaus das auf der Annahme eines zeitlich sinusförmigen Stabstromes beruhende Verfahren, die Stromverdrängungserscheinungen in den Läuferstäben durch frequenzabhängige Stabwiderstände und Nutstreuinduktivitäten zu erfassen, weil im dynamischen Betrieb von einem beliebigen zeitlichen Verlauf der Läuferströme auszugehen ist.
Wegen der auftretenden Nichtlinearitäten kann das Differentialgleichungssystem des Asynchronmotors nicht mehr geschlossen gelöst werden. Die erforderlichen Kenntnisse über sein Verhalten im dynamischen Betrieb werden zweckmäßig mit Hilfe digitaler Simulation gewonnen.
Im folgenden wird ein gleichungsorientiertes Verfahren zur digitalen Simulation von Asynchronmotoren mit Hochstabläufer im dynamischen Betrieb beschrieben. Grundlage bildet das in [1] entwickelte mathematische Modell.

1. Systemgleichungen

Die zentrale Idee dieses Verfahrens besteht darin, die sich tatsächlich einstellende Stromdichteverteilung in den Läuferstäben durch eine Treppenkurve anzunähern, ohne dabei den beliebigen zeitlichen Verlauf der Läuferströme einzuschränken. Dieser näherungsweisen Erfassung der Stromverdrängungserscheinung entspricht die Aufteilung des Läuferkäfigs in n übereinanderliegende stromverdrängungsfreie Teilkäfige mit gemeinsamen Kurzschlußringen. Die partielle Wirbelstromdifferentialgleichung

$$\frac{\partial^2 H_{\mathrm{St}}}{\partial z^2} = \varkappa \mu_0 \frac{\partial H_{\mathrm{St}}}{\partial t},$$

die die Stromverdrängungserscheinung in den Läuferstäben beschreibt, kann dadurch in ein System gewöhnlicher Differentialgleichungen überführt werden:

$$\frac{\mathrm{d}\vec{H}_i}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{\varkappa \mu_0} \frac{\vec{H}_{i+1} - 2\vec{H}_i + \vec{H}_{i-1}}{d^2}, \tag{1}$$

$$i = 1 \ldots (n-1).$$

Dieses Differentialgleichungssystem ist über die Randbedingungen für die magnetische Feldstärke an der Stabunter- und Staboberkante

$$\vec{H}_0 = 0 \text{ und } \vec{H}_{\mathrm{n}} = \frac{1}{b_{\mathrm{St}}} \vec{i}_2 \tag{2}$$

und über die Nutstreuung

$$\vec{\psi}_{\sigma n 0} = L_{\sigma n 0} \sum_{i=0}^{n} a_i b_{\mathrm{St}} \vec{H}_i \tag{3}$$

mit den Spannungs-Differentialgleichungen

$$\frac{\mathrm{d}\vec{\psi}_1}{\mathrm{d}t} = -\mathrm{j}\,\omega_k \vec{\psi}_1 + \vec{u}_1 - R_1 \vec{i}_1, \tag{4}$$

$$\frac{\mathrm{d}\vec{\psi}_2}{\mathrm{d}t} = -\mathrm{j}\,(\omega_k - \omega)\,\vec{\psi}_2 - R_2 \vec{i}_2 \tag{5}$$

gekoppelt und deshalb simultan mit diesen zu integrieren. Dabei gilt für die Flußverkettungen

$$\vec{\psi}_1 = L_1 \vec{i}_1 + L_{12} \vec{i}_2, \tag{6}$$

$$\vec{\psi}_2 = L_{21} \vec{i}_1 + L_2 \vec{i}_2 + \vec{\psi}_{\sigma n 0}, \tag{7}$$

und über die Gleichung für das elektromagnetisch entwickelte Drehmoment

$$m = -\frac{3}{2} p L_{12} \operatorname{Im} [\vec{i}_1^{\,*} \vec{i}_2] \tag{8}$$

mit der (den) Bewegungsgleichung(en) des mechanischen Systems

$$m = J \frac{\mathrm{d}\omega_{\mathrm{m}}}{\mathrm{d}t} + m_{\mathrm{w}}. \tag{9}$$

Bezeichnungen und Definitionen der Raumzeiger s. [1]. In der Läuferinduktivität ist hier der Anteil der Nutstreuung, die ja wegen der Stromverdrängung gesondert berechnet wird, nicht enthalten.

2. Normierte Zustandsdifferentialgleichungen im ständerbezogenen System

Vor der Integration der Systemgleichungen ist es zweckmäßig, die Gegeninduktivitäten und die Läufergrößen auf die Ständerseite umzurechnen sowie alle Zustands- und Anregungsgrößen zu normieren. Die Gegeninduktivitäten und Läufergrößen werden mit Hilfe der Gleichungen [2]

$$L_{12} := \frac{3}{N_2} \frac{w_1 \xi_{11}}{\xi_{\mathrm{Schr}1} \sin \alpha/2} L_{12} = L_h,$$

$$L_{21} := \frac{w_1 \xi_{11}}{\xi_{\mathrm{Schr}1} \sin \alpha/2} L_{21} = L_h,$$

$$L_{h2} := \frac{3}{N_2} \left[\frac{w_1 \xi_{11}}{\xi_{\mathrm{Schr}1} \sin \alpha/2}\right]^2 L_{h2} = L_h,$$

$$L_{2,\sigma n 0} := \frac{3}{N_2} \left[\frac{w_1 \xi_{11}}{\xi_{\mathrm{Schr}1} \sin \alpha/2}\right]^2 L_{\mathrm{L},\sigma n 0}, \tag{10}$$

$$R_2 := \frac{3}{N_2} \left[\frac{w_1 \xi_{11}}{\xi_{\mathrm{Schr}1} \sin \alpha/2}\right]^2 R_2,$$

$$i_2 := \frac{N_2}{3} \frac{\xi_{\mathrm{Schr}1} \sin \alpha/2}{w_1 \xi_{11}} i_2,$$

$$H_i := \frac{N_2}{3} \frac{\xi_{\mathrm{Schr}1} \sin \alpha/2}{w_1 \xi_{11}} H_i,$$

$$\psi_{2,\sigma n 0} := \frac{w_1 \xi_{11}}{\xi_{\mathrm{Schr}1} \sin \alpha/2} \psi_{2,\sigma n 0}$$

auf die Ständerseite umgerechnet.
Bei der Normierung werden vorteilhaft folgende Bezugsgrößen (Index B) verwendet:

$$U_{\mathrm{B}} = \sqrt{2}\, U_{1\mathrm{n}}, \quad I_{\mathrm{B}} = \sqrt{2}\, I_{1\mathrm{n}},$$

$$\psi_{\mathrm{B}} = \sqrt{2}\, U_{1\mathrm{n}}/\omega_1, \quad H_{\mathrm{B}} = \sqrt{2}\, I_{1\mathrm{n}}/b_{\mathrm{St}},$$

$$R_{\mathrm{B}} = U_{1\mathrm{n}}/I_{1\mathrm{n}}, \quad L_{\mathrm{B}} = U_{1\mathrm{n}}/(\omega_1 I_{1\mathrm{n}}),$$

$$t_{\mathrm{B}} = 1/\omega_1, \quad M_{\mathrm{B}} = 3p\, U_{1\mathrm{n}} I_{1\mathrm{n}}/\omega_1,$$

$$\omega_{\mathrm{el,B}} = \omega_1, \quad \omega_{m,\mathrm{B}} = \omega_1/p. \tag{11}$$

$U_{1\mathrm{n}}$ Ständernennstrangspannung, $I_{1\mathrm{n}}$ Ständernennstrangstrom, ω_1 Netzkreisfrequenz.
Die Vorteile der Normierung bestehen bekanntlich darin, daß sich alle interessierenden Größen nur in einem relativ engen und für sie charakteristischen Wertebereich bewegen. Auf diese Weise nehmen die Ergebnisse der zunächst für ein spezielles Problem durchgeführten Simulationen allgemeinen Charakter an.
Zur Integration der Systemgleichungen ist es notwendig, die in

Dr.-Ing. *Ulrich Beckert* und Dr.-Ing. *Wolfram Neuber* sind wissenschaftliche Mitarbeiter an der Bergakademie Freiberg, Sektion Maschinen- und Energietechnik, Wissenschaftsbereich Elektrotechnik.

ihnen enthaltenen komplexen Raumzeiger in ihre Real- und Imaginärteile zu zerlegen. Für die Raumzeiger im ständerbezogenen Koordinatensystem ($\omega_k = 0$) gilt allgemein:

$$\vec{g} = g_\alpha + \mathrm{j} g_\beta . \tag{12}$$

Die normierten Zustandsgleichungen im ständerbezogenen System lauten dann:

$$\frac{\mathrm{d}\psi_{1\alpha}}{\mathrm{d}\tau} = u_{1\alpha} - R_1 i_{1\alpha},$$

$$\frac{\mathrm{d}\psi_{1\beta}}{\mathrm{d}\tau} = u_{1\beta} - R_1 i_{1\beta},$$

$$\frac{\mathrm{d}\psi_{2\alpha}}{\mathrm{d}\tau} = -\omega\psi_{2\beta} - R_2 i_{2\alpha},$$

$$\frac{\mathrm{d}\psi_{2\beta}}{\mathrm{d}\tau} = \omega\psi_{2\alpha} - R_2 i_{2\beta}, \tag{13}$$

$$\psi_{1\alpha,\beta} = L_1 i_{1\alpha,\beta} + L_h i_{2\alpha,\beta},$$

$$\psi_{2\alpha,\beta} = L_h i_{1\alpha,\beta} + L_2 i_{2\alpha,\beta} + \psi_{\sigma n 0\alpha,\beta}, \tag{14}$$

$$\frac{\mathrm{d}H_{i\alpha,\beta}}{\mathrm{d}\tau} = \frac{1}{2}\frac{n^2}{\varrho}[H_{(i+1)\alpha,\beta} - 2H_{i\alpha,\beta} + H_{(i-1)\alpha,\beta}],$$

$$i = 1 \cdots (n-1), \tag{15}$$

$$H_{0\alpha,\beta} = 0,$$

$$H_{n\alpha,\beta} = i_{2\alpha,\beta}, \tag{16}$$

$$\psi_{\sigma n 0\alpha,\beta} = L_{\sigma n 0} \sum_{i=1}^{n} a_i H_{i\alpha,\beta}, \tag{17}$$

$$m = L_h (i_{1\beta} i_{2\alpha} - i_{1\alpha} i_{2\beta}), \tag{18}$$

$$\frac{\mathrm{d}\omega_m}{\mathrm{d}\tau} = \frac{1}{\tau_m}(m - m_w), \tag{19}$$

wobei

$$\tau_m = \omega_1 \frac{J_M \frac{\omega_1}{p}}{M_B} \tag{20}$$

die bezogene mechanische Zeitkonstante ist.
In (15) bezeichnet $\varrho = h_{St}/\delta$ die auf die Eindringtiefe bei Netzkreisfrequenz

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega_1 \varkappa_{St} \mu_0}} \tag{21}$$

bezogene Stabhöhe. Mit Ausnahme der Zeit wurden für die normierten Größen die gleichen Bezeichnungen wie für die physikalisch realen Größen benutzt.

3. Simulationsprogramm

Das Simulationsprogramm hat den grundsätzlichen Aufbau nach Bild 1.
Eingangsgrößen sind:

- Motornenndaten P_n, U_{1n}, I_{1n}, p, J_M, n_n
- ohmsche Widerstände R_1, R_{St}, R_R
- Induktivitäten L_h, $L_{\sigma 1}$, L_2, $L_{\sigma n 0}$
- die auf die Eindringtiefe bei Netzkreisfrequenz bezogene Stabhöhe ϱ
- Anzahl n der Schichten, in die der Hochstab bei der Berücksichtigung der Stromverdrängung unterteilt wird
- Amplitude $\hat{u}_N$ und Phasenwinkel φ_u der Netzspannung
- Komponenten des Widerstandsmomentes entsprechend (22)
- Ordnung n, Trägheitsmomente J_i ($i = 1, m$), Feder- und Dämpfungskonstanten c_i und d_i ($i = 1, m-1$) des mechanischen Systems
- Anfangswerte der Zustandsgrößen
- obere Integrationsgrenze
- Schrittweite h bei Verwendung eines Integrationsverfahrens mit fester Schrittweite bzw. Fehlerschranke ε bei Verwendung eines Integrationsverfahrens mit automatischer Schrittweitensteuerung.

Im vorliegenden Programm kann das mechanische System maximal ein Viermassendrehschwinger sein. Der zeitliche Verlauf des Widerstandsmomentes wird durch eine Summe aus einer Konstanten,

Bild 1. Grobflußbild des Simulationsprogramms

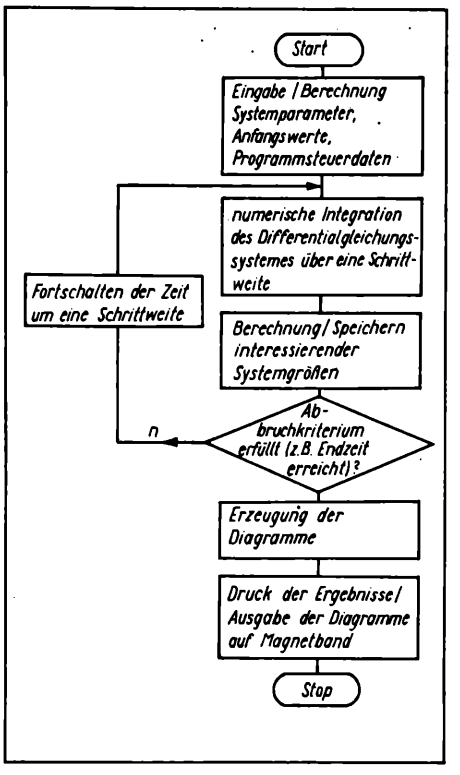
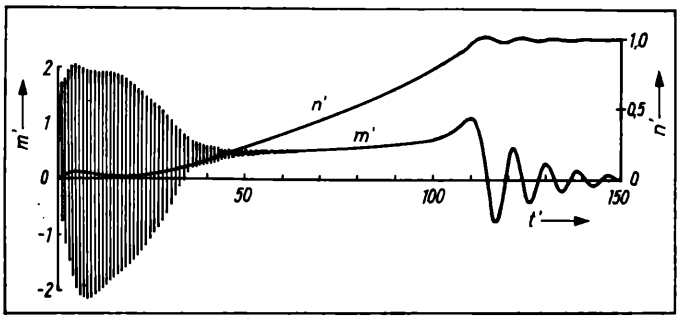


Bild 2. Zeitliche Verläufe des elektromagnetisch entwickelten Drehmomentes und der Drehzahl beim Anlauf Asynchronmotor mit Hochstabläufer 4500 kW; 6 kV; $2p = 4$; $J_{ges} = J_M$; $m_w = 0$



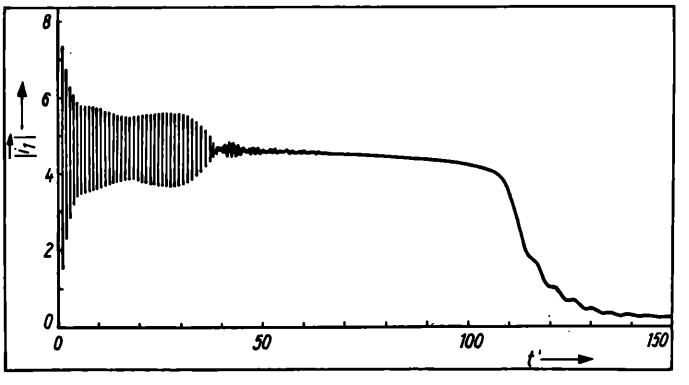
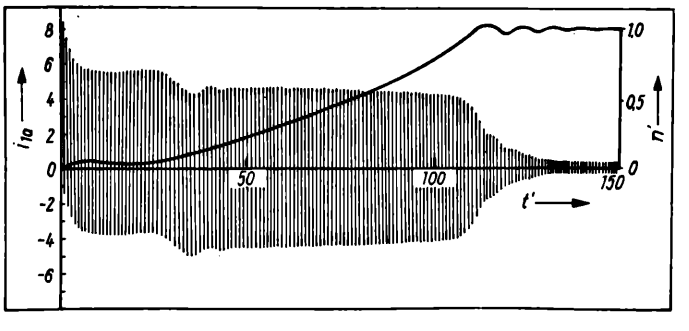


Bild 3. Zeitlicher Verlauf des Ständerstrombetrages beim Anlauf

Bild 4. Zeitlicher Verlauf des Ständerstrangstromes i_{1a} beim Anlauf



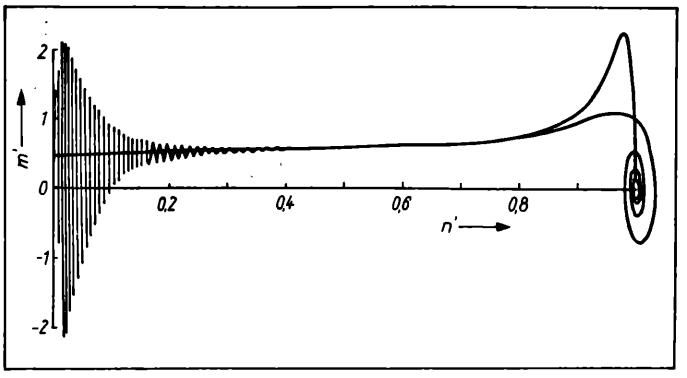


Bild 5. Dynamische und stationäre Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie

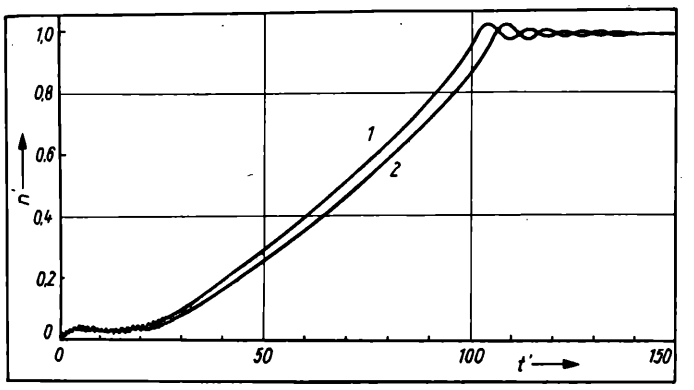


Bild 6. Zeitlicher Verlauf der Drehzahl beim Anlauf
1 Messung; 2 Rechnung

Tafel 1. Maximal zulässige Zeitschrittweite bei der numerischen Integration in Abhängigkeit von der Unterteilung des Hochstabes für RKF5

n	$\Delta\tau$	$\Delta t/ms$	Anzahl der Zeitschritte je Netzperiode
3	0,25	5	4
5	0,08	1,6	12,5
7	0,03	0,6	33,3
10	0,01	0,2	100

zwei drehwinkelabhängigen, drei winkelgeschwindigkeitsabhängigen und bis zu sechs periodischen Komponenten dargestellt:

$$m_w = M_{w0} + M_{w1}\gamma_A + M_{w2}\gamma_A^2 + M_{w3}\omega_A + M_{w4}\omega_A^2 + M_{w5}\omega_A^3 + \sum_{\nu=1}^{6} \hat{m}_{A\nu}\sin(\omega_{A\nu}t + \varphi_{A\nu}). \quad (22)$$

Der transiente Vorgang wird als beendet betrachtet, wenn die Änderung des Schlupfes eine vorgegebene Schranke unterschreitet. Alle zeitlich veränderlichen Größen des Programms können auf Wunsch als Funktion der Zeit ausgedruckt und ausgezeichnet werden. Außerdem läßt sich mit dem Programm noch die dynamische Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie auszeichnen. Ihr wird zum Vergleich die stationäre Kennlinie hinterlegt.
Als numerisches Integrationsverfahren wird das Runge-Kutta-Fehlberg-Verfahren 4. (5.) Ordnung [3] mit fester Schrittweite oder mit automatischer Schrittweitensteuerung verwendet.
Das Programm ist in FORTRAN geschrieben.

4. Einige Ergebnisse

Die Bilder 2 und 4 zeigen die zeitlichen Verläufe des elektromagnetisch entwickelten Drehmomentes, der Drehzahl, des Ständerstrombetrages und der Ständerstrangströme beim Leeranlauf eines vierpoligen 4500-kW-Asynchronmotors mit Hochstabläufer. Im Bild 5 sind die dynamische und die stationäre Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie dargestellt. Darin sind:

$$t' = \omega_1 t;\ m' = m/M_n;\ n' = n/n_s;\ i_1' = i_1/\sqrt{2}I_{1n}.$$

Nach gleichzeitigem Einschalten aller drei Ständerstränge des stillstehenden, stromfreien Motors baut sich beim Anlauf das elektromagnetisch entwickelte Drehmoment in Form einer gedämpften Schwingung mit etwa Netzfrequenz auf. Der Spitzenwert der Drehmomentschwingung beträgt etwa das 2,25fache des Nennmomentes bzw. etwa das 5fache des stationären Anzugsmomentes. Beim gleichzeitigen Einschalten aller drei Ständerstränge ist der Drehmomentspitzenwert von der Phasenlage der Netzspannung im Einschaltaugenblick unabhängig. Zusätzliche Schwungmassen verlängern zwar die Hochlaufzeit, haben jedoch nur geringen Einfluß auf den Maximalwert des Motormomentes. Gegenüber dem stationären Betrieb ist das Kippmoment stark herabgesetzt. Das Einlaufen in den stationären Endwert erfolgt in einer niederfrequenten gedämpften Schwingung, bei der das Drehmoment auch negative Werte annimmt.
Um die Richtigkeit des entwickelten mathematischen Modells und der durchgeführten Rechnungen zu belegen, sind im Bild 6 den Simulationsergebnissen in Prüffeldmessungen oszillografierte Hochlaufkurven gegenübergestellt. Man erhält eine relativ gute Übereinstimmung.

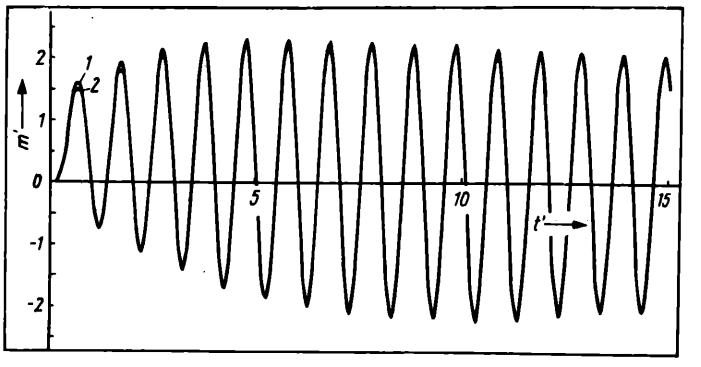


Bild 7. Zeitlicher Verlauf des elektromagnetisch entwickelten Drehmomentes beim Anlauf
1 Hochstab in 10 äquidistante Schichten unterteilt;
2 Hochstab in 3 äquidistante Schichten unterteilt

Weiterhin wurde untersucht, welchen Einfluß die bei der Erfassung der Stromverdrängung gewählte Unterteilung des Hochstabes auf die Genauigkeit der Simulationsergebnisse beim Anlauf hat: Schon bei einer Unterteilung des Hochstabes in drei Schichten gleicher Höhe erhält man, wie Bild 7 zeigt, eine sehr genaue Lösung. Von der gewählten Unterteilung des Hochstabes hängt die maximal zulässige Zeitschrittweite ab, bei der die numerische Integration gerade noch stabil ist. Eine feine Unterteilung des Hochstabes bedingt kleine Integrationsschrittweiten. Tafel 1 gibt diesen (experimentell bestimmten) Zusammenhang für das sehr stabile Runge-Kutta-Fehlberg-Verhalten 5. Ordnung an.
Die Simulationsrechnungen wurden auf dem Großrechner BESM 6 der TU Dresden durchgeführt.

5. Zusammenfassung

Im dynamischen Betrieb, bei dem der zeitliche Verlauf der Läuferströme nicht analytisch angegeben werden kann, läßt sich die Stromverdrängungserscheinung in den Läuferstäben durch eine treppenförmige Stromdichteverteilung annähern und die partielle Wirbelstrom-Differentialgleichung in ein System gewöhnlicher Differentialgleichungen überführen. Damit wird der Asynchronmotor mit Hochstabläufer auch im dynamischen Betrieb einer mathematischen Behandlung zugängig. Für einen vierpoligen 4500-kW-Motor werden die Lösungen des Differentialgleichungssystems angegeben und teilweise mit Messungen verglichen.

Literatur

[1] *Beckert, U.; Neuber, W.:* Theorie des dynamischen Verhaltens von Asynchronmotoren mit Hochstabläufer. ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 12, S. 457–459
[2] *Bausch, H.; Jordan, H.; Weis, M.:* Digitale Berechnung des transienten Verhaltens von stromverdrängungsfreien Drehstrom-Käfigläufermotoren. ETZ-A 89 (1968) 15, S. 361–366
[3] *Fehlberg, E.:* Klassische Runge-Kutta-Formeln fünfter und siebenter Ordnung. Computing 4 (1969) 2, S. 95–106

EA 5845

Anwendung der Netzwerkanalyse auf dem Gebiet elektrischer Maschinen – Teil 2

S. Fischer; U. Münch; E. Paulig; P. Schubert; K. Vogt; D. Witt; Dresden

„Die Natur schien gewissermaßen die verschiedensten Dinge genau nach demselben Plan gebaut zu haben oder, wie der Analytiker trocken sagt, dieselben Differentialgleichungen gelten für die verschiedensten Phänomene."

L. Boltzmann

In Anlehnung an die im Teil I [1] gemachten Ausführungen ergeben sich bei Anwendung der Netzwerkanalyse folgende Vorteile:

— Anpassung der Rechengenauigkeit an die jeweilige Aufgabenstellung durch Wahl des Vernetzungsgrades:
Eine Maschinenoptimierung fordert hinsichtlich der Magnetkreisberechnung ein einfaches Modell mit wenig Netzwerkelementen, so daß bei erträglichem Rechenaufwand viele Varianten berechnet werden können.
Zur Nachrechnung des Betriebsverhaltens einer entworfenen, eventuell sogar optimierten elektrischen Maschine ist eine möglichst gute Vernetzung anzustreben, um die Treffsicherheit der Rechnung zu verbessern.
— Bei der Aufstellung des Netzwerkes ist die Bildung von Makros möglich.
— Räumliche (axiale) Einflüsse können bei Ansatz ebener Netzwerke durch Korrektur der Netzwerkparameter Berücksichtigung finden (z.B. Einführung von l_i), bzw. direkt durch eine räumliche Vernetzung modelliert werden (z.B. Flußentlastung durch Preßringe).
— Erfassung dynamischer Vorgänge bei erträglicher Rechenzeit (z.B. drehzahlabhängige Flußentlastung des Ankerrückens durch die Ankerwelle).
— Bei gleichem effektivem Arbeitszeitaufwand für eine Berechnung kann man sich stärker auf die physikalischen Wirkmechanismen und die Modellbildung konzentrieren.
Nachteilig muß in Kauf genommen werden:
— Alle Netzwerkelemente sind zu berechnen. Jedoch kann mit entsprechenden Programmsegmenten eine Kopplung zur Geometrie und eine automatische Netzgenerierung erreicht werden.
— Das der Netzwerkanalyse zugrunde liegende Modell mit den konzentrierten Bauelementen muß den physikalischen Sachverhalt gut widerspiegeln. So ist beispielsweise bei der Magnetfeldberechnung die Kenntnis des prinzipiellen Feldverlaufs nötig, um das Netzwerk problemgerecht zu modellieren.

1. Beispiele zur Anwendung der Netzwerkanalyse

1.1. Berechnung magnetischer Kreise

Das im Bild 4 [1] dargestellte Netzwerk ist zur Modellierung des magnetischen Kreises einer leerlaufenden Gleichstrommaschine geeignet. Gegenüber dem der klassischen Berechnung zugrunde liegenden Netzwerk (siehe Bild 3b) [1]) ergeben sich folgende Veränderungen bei der Ermittlung interessierender magnetischer Größen:

— Infolge stärkerer Vernetzung des Luftspaltbereichs entfällt der zur Berechnung des Luftspaltspannungsabfalls üblicherweise benutzte Korrekturfaktor (α_i).
— Die Verteilung des magnetischen Flusses auf die Ankerzähne ist, abgesehen von der Geometrie, auch von der Aussteuerung des magnetischen Kreises abhängig. Dadurch ändert sich die Feldkurve der Maschine unter dem Einfluß der Erregerdurchflutung.
— Der Vergleich mit Meßergebnissen bestätigt eine deutliche Verbesserung der Treffsicherheit der Berechnung.

Bild 1 zeigt die mit Netzwerkanalyse und klassischer Berechnung ermittelten Magnetisierungskennlinien einer elektrisch erregten Gleichstrommaschine. Die unterschiedlichen Verläufe sind hauptsächlich auf den nicht konstanten ideellen Polbedeckungsfaktor zurückzuführen. Bild 2 verweist auf die wichtigsten Einflüsse.
Bei geringer Erregung ist die Induktion im Bereich des konstanten Luftspalts überall gleich groß. Am Polschuhrand hingegen fällt sie infolge des wirksamen höheren magnetischen Widerstandes stark ab. Bei größerer Erregerdurchflutung nimmt die Induktion auf Grund der Sättigung in einzelnen Magnetkreisabschnitten ungleichmäßig zu. So steigt sie im Gebiet der Polhörner ungleich stärker an als im Bereich konstanten Luftspalts. Die Sättigung des Ankerrückengebietes bewirkt die erkennbare Einsattelung der Feldkurve in Polmitte.
Die erläuterten Veränderungen der Feldkurvenform (in Abhängigkeit von der Erregung) beeinflussen den ideellen Polbedeckungsfaktor, der bei der klassischen Berechnung von Gleichstrommaschinen in der Regel als konstant angenommen wird. Bei vertretbarer Vergrößerung des Berechnungsaufwandes für die Netzwerkanalyse steigt die Genauigkeit der Rechenergebnisse erheblich.

1.2. Berechnung der Stromverdrängung

Der Effekt der Stromverdrängung in einem massiven Leiter läßt sich mit dem Modell gemäß Bild 3a) wie folgt mathematisch beschreiben [2]:

$$u_{r,\nu} - u_{r,(\nu+1)} + \frac{\mathrm{d}\Phi_\nu}{\mathrm{d}t} = 0, \tag{1}$$

$$\Phi_\nu = \frac{\Theta_\nu}{R_{m,\nu}}, \tag{2}$$

$$\Theta_\nu = \sum_{i=1}^{\nu} i_i, \tag{3}$$

$$R_{m,\nu} = \frac{b_n}{l\, h_\nu\, \mu_0}, \tag{4}$$

$$R_\nu i_\nu - R_{(\nu+1)}\, i_{(\nu+1)} + L_\nu \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \sum_{i=1}^{\nu} i_1 = 0. \tag{5}$$

Die rekursive Lösung des betreffenden Gleichungssystems ist hinlänglich bekannt [2] [3]. Aus Bild 3a) läßt sich jedoch auch, wie im Bild 3b) gezeigt, ein elektrisches Analogienetzwerk ableiten und damit die Netzwerkanalyse anwenden. Die Ergebnisse der bisher üblichen Berechnung und die der hier vorgestellten Methode sind selbstverständlich gleich, jedoch lassen sich bei Anwendung der Netzwerkanalyse sehr einfach nichtlineare Zusammenhänge bzw. Kennlinien (Eisensättigung!) berücksichtigen.

1.3. Berechnung nichtstationärer Betriebszustände von Gleichstrommaschinen

Am Beispiel der Berechnung des Betriebsverhaltens einer rotierenden elektrischen Maschine wird die Anwendung der Netzwerkanalyse für ein elektromechanisches System demonstriert.
Unter Annahme konstanter Erregung, konstanter Induktivitäten und ohne Berücksichtigung der Ankerrückwirkung gelten für eine Gleichstrommaschine folgende Gleichungen:

$$u_a(t) = c\,\Phi\,\Omega(t) + i_a(t)\,R_a + L_a \frac{\mathrm{d}\,i_a}{\mathrm{d}t}, \tag{6}$$

$$m_a(t) = c\,\Phi\,i_a(t), \tag{7}$$

$$m_b(t) = J\,\frac{\mathrm{d}\Omega}{\mathrm{d}t}, \tag{8}$$

$$m_b(t) = m_a(t) - m_w(t). \tag{9}$$

(Zählpfeile nach [7], S. 33)
Um das geltende Gleichungssystem zur Bildung einer elektrischen Ersatzschaltung aufzubereiten, empfiehlt es sich, die Transformationsbeziehungen aus Tafel 2 [1] zu nutzen.
Das Trägheitsmoment der Maschine ist im Bild 4 mit einem Kondensator modelliert. Die Knotenspannungsanalyse ermöglicht keine direkte Modellierung von Induktivitäten, so daß zur Berechnung von Schaltungen mit induktiven Widerständen jeweils eine zusätzliche Gleichung aufgestellt werden muß. Aus diesem Grund sollte die Berücksichtigung von Energiespeichern möglichst mit kapazitiven Widerständen erfolgen.

Prof. Dr. sc. techn. *Siegfried Fischer* ist Inhaber des Lehrstuhls Technische Thermodynamik an der Sektion Energieumwandlung; Dipl.-Ing. *Ulrich Münch* ist wissenschaftlicher Assistent an der Sektion Elektrotechnik; Prof. Dr. sc. techn. *Eberhard Paulig* ist Inhaber des Lehrstuhls Starkstromtechnik und Direktor der Sektion Elektrotechnik; Dr.-Ing. et Dr. sc. phil. *Peter Schubert* ist wissenschaftlicher Oberassistent an der Sektion Elektrotechnik; Prof. Dr. sc. techn. *Karl Vogt* ist Inhaber des Lehrstuhls Elektromaschinen an der Sektion Elektrotechnik; Prof. Dr. sc. techn. *Dieter Witt* ist Inhaber des Lehrstuhls Technische Mechanik an der Sektion Grundlagen des Maschinenwesens der TU Dresden.

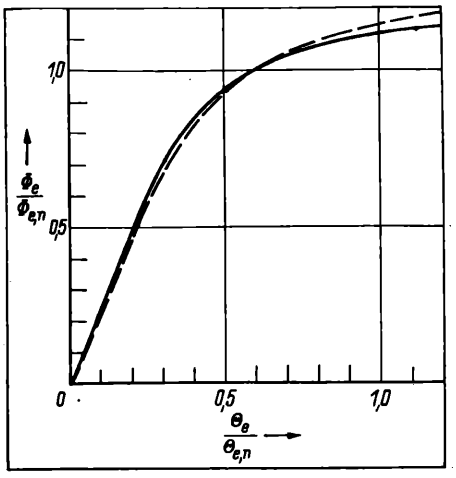


Bild 1. Magnetisierungskennlinien einer elektrisch erregten Gleichstrommaschine im Leerlauf
——— klassische Berechnung nach [1], Bild 3b
- - - - - - Netzwerkberechnung nach [1], Bild 4

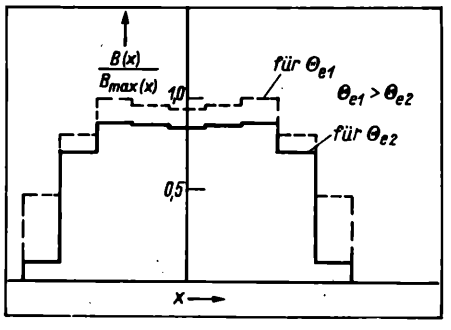


Bild 2. Mit Hilfe der Netzwerkanalyse berechnete Feldkurve einer elektrisch erregten Gleichstrommaschine

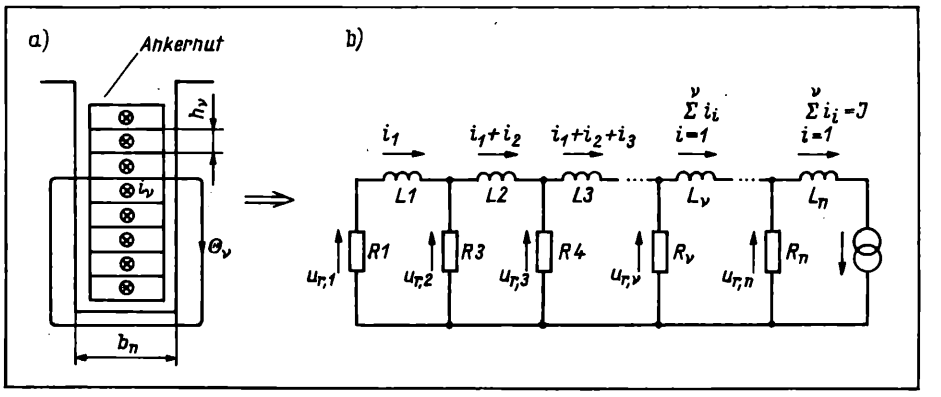


Bild 3. Zur Berechnung der Stromverdrängung
a) Teilleitermodell eines massiven Leiters
b) Teilleitermodell als elektrisches Netzwerk

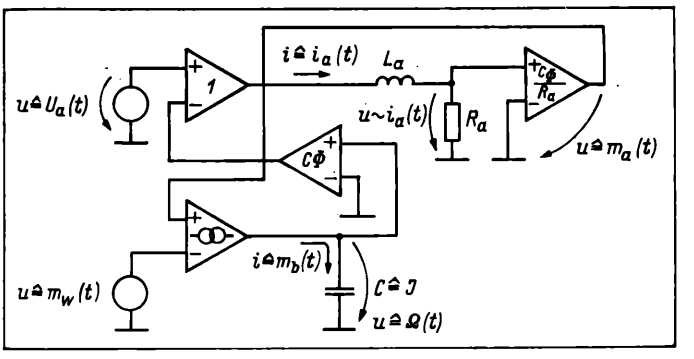


Bild 4. Netzwerk zur Simulation des dynamischen Betriebsverhaltens einer Gleichstrommaschine

Bei Anwendung von Operationsverstärkern (Spannungsausgang) bzw. von spannungsgesteuerten Stromquellen (Stromausgang) sind erforderliche Umwandlungen der Zustandsgrößen einfach möglich ($i \triangleq m_b$, Bild 4). Das Verhalten der Gleichstrommaschine im nichtstationären Betrieb kann nun durch Analyse der Strom- bzw. Spannungsverhältnisse der Ersatzschaltung, d.h. bei Vorgabe entsprechender zeitlicher Verläufe der Spannungsquellen (Ankerspannungsverlauf, Momentenverlauf), ermittelt werden.

1.4. Thermische Berechnung einer elektrischen Maschine

In den Bildern 5a) und 5b) sind Läuferlängsschnitt und Ständerquerschnitt einer Gleichstrommaschine schematisch angegeben. Das daraus abgeleitete thermische Netzwerk ist im Bild 6 dargestellt. Bei konvektiver Kühlung, wie das im Fall der hier modellierten elektrischen Maschine zutrifft, berechnet sich der Energiestrom der Kühlluft (Enthalpiestrom) am jeweiligen Knoten i aus

$$\dot{C}\,T_i = \dot{C}\,T_{i-1} + \Sigma\,\dot{Q}_{i,j}\,. \tag{10}$$

T_{i-1} ist dabei die Temperatur der Kühlluft des in Strömungsrichtung vorgelagerten Knotens. Nach Berechnung der Netzwerkparameter (siehe [4] [5] u.a.) konnte die Temperaturverteilung an ausgewählten aktiven Bauteilen mit Hilfe der Netzwerkanalyse ermittelt werden. Bild 7 zeigt die berechnete stationäre Temperaturverteilung einer bezüglich des Ankerstroms gering belasteten Gleichstrommaschine.

1.5. Berechnung der Schwingungsisolierung einer Maschine

Eine nicht vollständig ausgewuchtete elektrische Maschine ist im Betriebsfall eine Kraftquelle für die Stelle, an der sie montiert wurde [6]. Aus diesem Grund wird häufig zwischen der Maschine und der Befestigungsstelle ein schwingungsdämpfendes Element (elastische Zwischenschicht mit innerer Dämpfung) angebracht. Bild 8a) zeigt eine schematische Anordnung des beschriebenen Sachverhaltes. Die Ersatzschaltung dieser Anordnung ist im Bild 8b) dargestellt. Es enthält ferner Angaben über die Größe der Netzwerkparameter, die aus [6], S. 63, bestimmt worden sind.
Das Zahlenbeispiel bezieht sich auf eine Läufermasse von $m_1 = 100$ kg mit einer Unwuchtamplitude von $s = 0{,}1$ mm. Die Masse des kompletten Ständers beträgt ebenfalls $m_2 = 100$ kg. Als Nenndrehzahl der Maschine ist $n_n = 3000$ U/min ($f_n = 50$ Hz) angegeben. Die Beschaffenheit der Unterlage führt zu einer Resonanzfrequenz von 10 Hz.
Im Bild 9 ist die wirksame Kraft bei Schwingungsisolierung, bezogen auf die ohne Schwingungsisolierung (logarithmischer Maß-

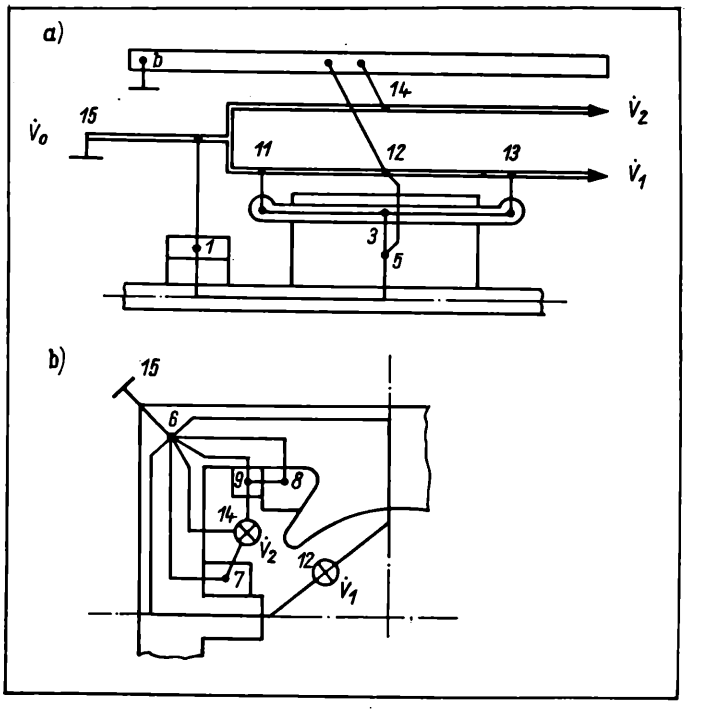


Bild 5. Schematische Darstellung der Wärmeströme
a) Läuferlängsschnitt
b) Ständerquerschnitt
1 Kommutatorlamellen; *2* Wicklungskopf (B-Seite); *3* Ankerspule (Mitte); *4* Wicklungskopf (A-Seite); *5* Läuferblechpaket; *6* Ständerblechpaket; *7* Wendepolwicklung; *8* Erregerwicklung; *9* Reihenschlußwicklung; *10 ··· 14* Temperaturen der Kühlluftströme; *15* Umgebungstemperatur

stab), als Funktion der Frequenz (Rechnerausdruck) aufgezeichnet. Während sich bei fester Montage und bei Betriebsdrehzahl eine Kraft von $F = 987$ N ergibt, reduziert sich diese bei schwingungsisolierter Aufstellung (Nenndrehzahl) um den Faktor 21,5 (eingeschwungener Zustand). Bild 10 zeigt den Verlauf der interessieren-

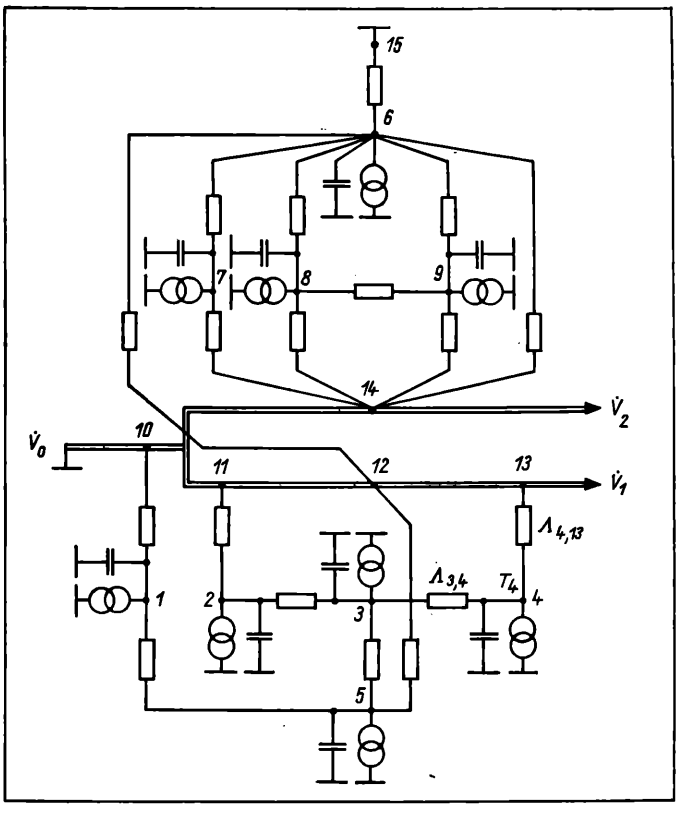


Bild 6. Thermisches Netzwerk

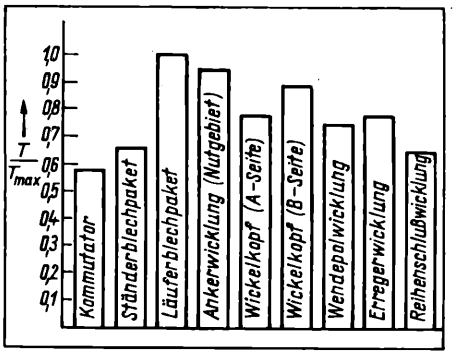
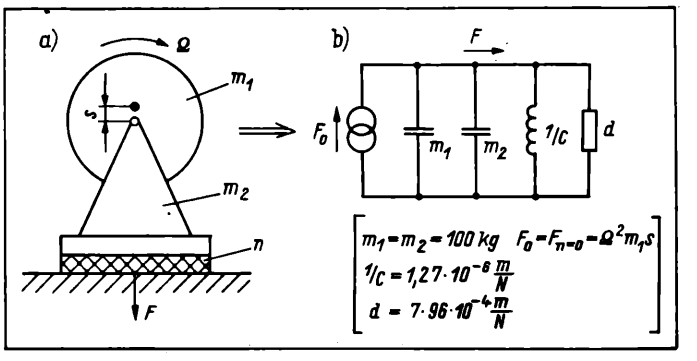


Bild 7. Stationäre Temperaturverteilung einer Gleichstrommaschine (Betriebsfall: vollerregt, Schwachlast)

Bild 8. Schwingungsisolierung einer Maschine mit Unwucht.
a) Schematische Darstellung
b) Ersatzschaltung



den Kraft an der Befestigungsstelle am Beispiel der leer hochlaufenden Gleichstrommaschine mit sehr kleiner mechanischer Zeitkonstante. Obwohl der Übergangsvorgang nur im Bereich von 0 ms bis 201 ms berechnet wurde, ist der Einschwingvorgang dennoch deutlich zu erkennen. Die maximal auftretende Kraft beträgt $987 \cdot 0{,}213\ \mathrm{N} = 210\ \mathrm{N}$ und damit immerhin nahezu das fünffache gegenüber der im stationären Betrieb.

2. Zusammenfassung

Mit der stürmischen Entwicklung der Elektrotechnik wurden im Rahmen der elektrischen System- und Netzwerktheorie, beispielsweise in Form der Netzwerkanalyse, sehr leistungsfähige Rechenmethoden entwickelt, deren Anwendung auch auf mechanische, thermodynamische u. a. Problemstellungen, ja sogar auf Felduntersuchungen möglich ist.
Hand in Hand mit der sich ständig weiter entwickelnden dezentralen Rechentechnik bieten vorhandene Netzwerkanalyseprogramme für den in der Praxis stehenden Elektroingenieur die ausgezeichnete Möglichkeit, beispielsweise mit der Lösung eines Magnetfeldproblems, tiefer in seine Fachproblematik einzudringen oder aber tangierende Aufgabenstellungen zu bearbeiten.
Je nach Wahl des Vernetzungsgrades liegen die Rechnungen hinsichtlich Zeitdauer und Genauigkeit zwischen denen der klassisch-manuellen und denen rein numerischer Feldberechnungsmethoden, was für viele technikwissenschaftliche Problemstellungen von ganz besonderem Vorteil ist.

Bild 9. Schwingungsdämpfung (schwingungsisoliert aufgestellte elektrische Maschine; $F' = F/F_0$)

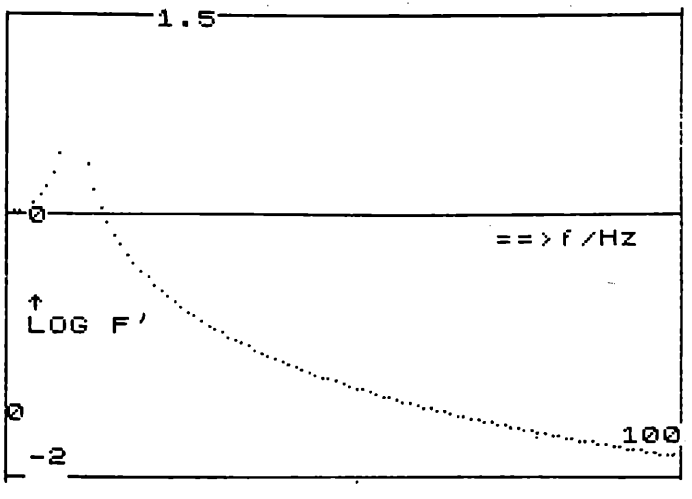
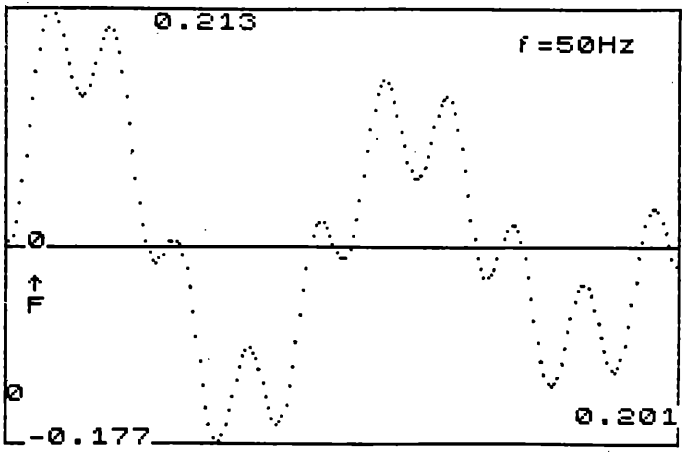


Bild 10. Kräfteverlauf an der Befestigungsstelle (Übergangsvorgang)



Literatur

[1] *Fischer, S.; Münch, U.; Paulig, E.; Schubert, P.; Vogt, K.; Witt, D.:* Anwendung der Netzwerkanalyse auf dem Gebiet elektrischer Maschinen — Teil I. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 10, S. 395–398
[2] *Bunzel, E.;* u. a.: Berechnung der Stromverdrängung als Beispiel zum Rechnen mit komplexen Größen. ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 9, S. 348–351
[3] *Vogt, K.:* Elektrische Maschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1972
[4] *Schuisky, U.:* Berechnung elektrischer Maschinen. Wien: Springer Verlag 1960
[5] *Richter, R.:* Elektrische Maschinen. Bd. 1. Stuttgart: Birkhäuser Verlag 1967
[6] *Lenk, A.:* Elektromechanische Systeme. Bd. 1: Systeme mit konzentrierten Parametern. Berlin: VEB Verlag Technik 1971
[7] VEM-Handbuch: Die Technik der elektrischen Antriebe. Berlin: VEB Verlag Technik 1974

EA 5785

Zur Identifikation der Modellparameter elektrischer Maschinen mit stochastischer Optimierung

Teil 1: Allgemeiner Algorithmus auf der Grundlage der (1^+, λ) — Evolutionsstrategie

V. Diedrichs, Rostock

Verwendete Formelzeichen

$\underline{A}$, $\underline{B}$	Matrizen
$D(\ )$	Dispersion von ( )
$E(\ )$	Erwartungswert von ( )
$IFIX(\ )$	Fraktionierung von ( )
k	Laufvariable für die Nachkommen je Generation
m	Laufvariable für die Generationenanzahl
n	Anzahl der Modellparameter
p	Modellparameter
s	Mutationsschrittweite
$\underline{u}$	Eingangsvektor
w	Wichtungsfaktoren
$\underline{x}$, x, X	Zustandsvektor bzw. -größe
a, b, d, z	Zufallszahlen
γ	Anzahl der Vergleichszustände
Δ	Gütefunktion
λ	Anzahl der Nachkommen je Generation
ν	Laufvariable für die Modellparameter
$\wedge$	log. Konjunktion

1. Problem- und Zielstellung

Die Projektierung elektrischer Antriebe enthält oft die Berechnung des Betriebsverhaltens der Maschinen. Voraussetzung dafür sind Maschinenmodelle, effektive Lösungsmethoden und die Kenntnis der in den Modellen auftretenden Maschinenparameter.
Maschinenmodelle lassen sich allgemein als Zustandsvektordifferentialgleichungen

$$\mathrm{d}\underline{x}/\mathrm{d}t = \underline{A}\,\underline{x} + \underline{B}\,\underline{u} \tag{1}$$

angeben [1]. Je nach Modellansatz und interessierende Betriebszustände lassen sich aus (1) u.a. die gebräuchlichen Spannungs- und Drehmomentenbeziehungen gewinnen. In den System- bzw. Eingangsmatrizen $\underline{A}$ bzw. $\underline{B}$ widerspiegelt sich die Gesamtheit der für den Modellansatz erforderlichen Modellparameter p_ν, $\nu = 1, \ldots, n$.
Während allgemeine Maschinenmodelle und Lösungsmethoden zur Verfügung stehen, trifft diese Feststellung auf die Modellparameter p_ν konkreter Maschinen in der Projektierungsphase im allgemeinen nicht zu; die zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Angebotskataloge der Hersteller enthalten exponierte Betriebskennwerte. Bei der Nutzung publizierter Parameterorientierungswerte [2] bis [4] besteht im Interesse der Prognosesicherheit das allgemeine Problem der Lokalisation der Lage der jeweils konkreten Maschine in den z.T. relativ breiten Toleranzfeldbändern.
Der Grundgedanke der bisher meist verwendeten Methoden zur Gewinnung der Modellparameter [5] bis [10] besteht in deren serieller Identifikation. Konsequenz dessen ist das Erfordernis der Kenntnis eines ganz bestimmten, von der konkreten Methode abhängigen Umfangs empirischer Angaben. Da diese minimal erforderliche Datenmenge z.B. mit den Herstellerkatalogen nicht immer zur Verfügung steht, sind zusätzliche Angaben oder eigene experimentelle Untersuchungen notwendig. Beides kann die Projektierung erschweren. Eine methodisch alternative Möglichkeit besteht in der parallelen Parameteridentifikation nach folgendem Grundgedanken: Mit den Maschinenmodellen (1) sind u.a. auch die Betriebskennwerte berechenbar, die z.B. die Form von Katalogangaben zur Verfügung stehen. Durch eine Variation der Modellparameter besteht dann die Möglichkeit, die Differenzen zwischen den Originalbetriebskennwerten und den berechneten zu minimieren. Diejenige Parameterkombination, für die diese Differenz minimal ist, repräsentiert dann die konkrete Maschine. Abstrakt: Wie kann das Verhalten des Modells (1) dem des (Katalog-)Originals maximal angenähert werden, wenn die Modellstruktur zugrunde gelegt wird und die Modellparameter Freiheitsgrade darstellen? In Form dieser Fragestellung ist die Parameteridentifikation ein Optimierungsproblem, das mit verschiedenen Methoden, u.a. der Evolutionsstrategie, gelöst werden kann. Von diesem Standpunkt aus ist dann die Anwendung der Methode bei unterschiedlichem Umfang an Primärinformationen, z.B. den in Katalogen enthaltenen, möglich.
Aus der Sicht der bei jeder Modellbildung erforderlichen Abstraktion von bestimmten Erscheinungen ist ein identisches Modell- und Originalverhalten für eine konkrete Parameterkombination in dem Maße unwahrscheinlicher, wie die Anzahl der zu vergleichenden Einzelkennwerte zunimmt. Die im Ergebnis der Optimierung vorliegende Parameterkombination muß deshalb als beste Kompromißlösung aus der Sicht des Gesamtvergleichs und unter Berücksichtigung der Gütefunktion angesehen werden. (Aus der Sicht der Vektor- oder Polyoptimierung [11] [12] ist diese Lösung ein Element der effizienten Kompromißmenge.) Eine entsprechende Formulierung der Gütefunktion ermöglicht deshalb als qualitativ neues Moment die Gewinnung solcher Parameterkombinationen, die hinsichtlich einzelner Vergleichskriterien zwischen Modell und (Katalog-)Original zu einer gezielten der aus erkenntnis-theoretischen Gründen notwendig auftretenden Modellunschärfe führen.
Das Optimierungsproblem selbst besteht im Aufsuchen des Extremums (Minimums) der Gütefunktion. Gelingt der Nachweis deren Stetigkeit im Parameterraum, ist die Existenz des Optimierungsziels nach dem Satz von *Weierstrass* erwiesen, die Existenz lokaler Extrema jedoch nicht ausgeschlossen. Letzteres hat Bedeutung für die zur mathematischen Minimierung eingesetzten Methoden. So ermöglichen unter bestimmten Randbedingungen [13] global konvergente Verfahren das sichere Aufsuchen einer Minimumstelle. Die Identifikation als globales Minimum gelingt jedoch im allgemeinen nicht, da bestimmte analytische Eigenschaften (z.B. die der Unimodalität) bezüglich der Gütefunktion nicht allgemein voraussetzbar sind [14]. Deshalb werden z.B. durch sukzessive Änderungen des Startvektors Überprüfungen (Suchstrategien) notwendig. Unter anderem infolge dieses Sachverhalts erfolgt die Verwendung eines ausschließlich auf wahrscheinlichkeitstheoretischer Grundlage arbeitenden Suchverfahrens in Form der Evolutionsstrategie, das voll rechnergestützt gestaltet werden kann und nach [15] für die Behandlung technischer Probleme noch nicht weiter verbreitet ist. Die Verfahrensgestaltung in Form der (1, λ)-gliedrigen Strategie selbst erfolgt in enger Anlehnung an [16], ein Verweisen in Detailfragen erfolgt deshalb nicht.

2. Gütefunktion

Ansatzgemäß besteht das Ziel in der Minimierung der Differenz zwischen Modellzustandsgröße x in einem bestimmten Betriebspunkt γ: x_γ und dem (Katalog-)Originalwert X im gleichen Betriebspunkt: X_γ. Zur Vermeidung unterschiedlicher Dimensionen sowie hinsichtlich einer gleichprozentigen Bewertungsmöglichkeit folgt nach Normierung als eine mögliche Gütefunktion

$$\Delta = \sum_\gamma w_\gamma \left[\frac{|X_\gamma - x_\gamma|}{X_\gamma}\right]^j; \quad j \geqq 1 \tag{2}$$

mit dem Optimierungsziel

$$\Delta \rightarrow \mathrm{Min!} \tag{3}$$

Die w_γ stellen Wichtungsfaktoren zwischen den einzelnen Betriebsdaten x bzw. X dar und lassen bei o.g. Kompromißsituation (charakterisiert durch $\Delta_{\min} \neq 0$) Parameterkombinationen entstehen, die zu einer gezielten Modellunschärfe bezüglich einzelner Komponenten des Lösungsvektors $\underline{x}$ führen.

3. Startwerte des Algorithmus

Die Modellparameter des Elter der ersten Nachkommengeneration $p_\nu^{(0)}$, $\nu = 1, \ldots, n$ können auf der Grundlage von Parameterrichtwerten (z.B. Parameterorientierungswerte nach [2]) bzw. Schätzwerten festgelegt werden. Für die Startwerte der Mutationsschrittweite wird

Dr. sc. techn. *Volker Diedrichs* ist Dozent an der Ingenieurhochschule für Seefahrt Warnemünde/Wustrow, Sektion Schiffsbetriebstechnik, Wissenschaftsbereich Schiffselektrotechnik.

$$S_\nu = \frac{l_\nu C_{1,\lambda}}{\sqrt{b\,n}}; \quad \nu = 1, \ldots, n \tag{4}$$

mit

l_ν Stellbereich der Modellparameter
$C_{1,\lambda}$ Fortschrittsbeiwert der (1, λ)-Evolutionsstrategie
n Anzahl der Modellparameter

verwendet. Für den Stellbereich der Modellparameter kann die Toleranzbandbreite der vorstehend genannten Orientierungswerte Verwendung finden. Der Startwert für die nachfolgend erforderlichen Quasi-Zufallsgeneratoren kann beliebig im Intervall [0, 1) liegen.

4. Mutationsschrittweite der m-ten Generation

In Abhängigkeit einer durch einen Quasi-Zufallsgenerator, z. B. der Form

$$a_{k,\nu}^{(m)} = IFIX\left(21\, a_{k,\nu}^{(m-1)} + 33{,}\overline{3}\right) \tag{5}$$

gebildeten gleichverteilten Zufallszahl in [0, 1) folgt für jeden der $\nu = 1, \ldots, n$ Parameter der $k = 1, \ldots, \lambda$ Nachkommen innerhalb der m-ten Generation die Mutationsschrittweite

$$S_{k,\nu}^{(m)} = \begin{cases} \alpha\, S_\nu^{(m-1)}; & a_{k,\nu}^{(m)} < \dfrac{1}{3}, \\ \dfrac{S_\nu^{(m-1)}}{\alpha}; & a_{k,\nu}^{(m)} > \dfrac{2}{3}, \\ S_\nu^{(m-1)}; & \text{sonst}, \end{cases} \tag{6}$$

mit $\alpha = 1{,}1 \cdots 2$.

5. Mutierte Modellparameter der m-ten Generation

Mit Generatoren für gleichverteilte Zufallszahlen $b_{k,\nu}^{(m)}$; $d_{k,\nu}^{(m)}$ analog (5) sowie der nachkommenabhängigen Mutationsschrittweite in Form von (6) folgen mit

$$Z_{k,\nu}^{(m)} = S_{k,\nu}^{(m)} \sqrt{-2 \ln\left(b_{k,\nu}^{(m)}\right)} \sin\left(2\,\pi\, d_{k,\nu}^{(m)}\right) \tag{7}$$

normalverteilte Zufallszahlen mit $E\left(Z_{k,\nu}^{(m)}\right) = 0$ und $D\left(Z_{k,\nu}^{(m)}\right) = S_{k,\nu}^{(m)}$. Für die Parameter der m-ten Generation $p_{k,\nu}^{(m)}$, $k = 1, \ldots, \lambda$ folgt auf der Grundlage der Parameter des Elter

$$p_{k,\nu}^{(m)} = p_\nu^{(m-1)} + Z_{k,\nu}^{(m)}; \quad \nu = 1, \ldots, n; \; k = 1, \ldots, \lambda. \tag{8}$$

6. Selektion des bestangepaßten Nachkommen der m-ten Generation

Mit Hilfe von (1) kann mit (8) für jeden der $k = 1, \ldots, \lambda$ Nachkommen der m-ten Generation der Zustandsvektor im interessierenden Betriebspunkt $\gamma : x_{\gamma,k}$ berechnet und damit die Gütefunktion (2) quantifiziert werden:

$$\Delta_k^{(m)} = \sum_\gamma w_\gamma \left[\frac{|X_\gamma - x_{\gamma,k}|}{X_\gamma}\right]^j. \tag{9}$$

Der für die nächste Generation Nachkommen zugrunde zulegende Elter ist aus der Sicht von (9) derjenige Nachkomme k^*, für den entsprechend des Optimierungsziels [Gl. (3)]:

$$\Delta_{k^*}^{(m)} \leqq \Delta_k^{(m)}; \quad k = 1, \ldots, \lambda \tag{10}$$

gilt. Mit

$$S_\nu^{(m)} = S_{k^*,\nu}^{(m)}, \; p_\nu^{(m)} = p_{k^*,\nu}^{(m)}; \quad \nu = 1, \ldots, n \tag{11}$$

wiederholt sich der Algorithmus für die $m + 1$-Generation, beginnend mit (5), entsprechend des Konzepts der (1, λ)-Strategie.

7. Prüfung der Globalität des mit der (1, λ)-Strategie gewonnenen Extremums mit (1 + λ)-Strategie

Charakteristisch für die (1, λ)-Strategie ist der Sachverhalt, daß als Elter für die m-te Generation ausschließlich ein Nachkomme der (m-1)-ten Generation (der bezüglich des Optimierungsziels bestangepaßte) in Betracht kommt, womit ein „Durchschleifen" der Startwerte vermieden wird. In Verbindung mit der Mutationsschrittweitensteuerung (6) besteht deshalb die Möglichkeit, daß bei Gütefunktionen mit lokalen Extrema im Parameterraum R^n das globale Extremum nicht gefunden wird. Die Prüfung des mit der (1, λ)-Strategie gefundenen Extremums auf Globalität kann durch den Übergang zur (1 + λ)-Strategie erfolgen, wenn anstelle von (10) Gl. (12) verwendet wird.

$$\Delta_{k^*}^{(m)} \leqq \Delta_k^{(m)} \wedge \Delta_{k^*}^{(m-1)}; \quad k = 1, \ldots, \lambda. \tag{12}$$

Der Gl. (12) zugrunde liegende Ansatz besteht darin, als Elter der m-ten Generation den bestangepaßten Nachkommen der beiden vorangegangenen und damit den aller Generationen zugrunde zu legen. Sinnvoll wird der mit (12) verbundene Übergang jedoch erst, wenn gleichzeitig auch die Mutationsschrittweite und damit der erfaßte Bereich im Parameterraum R^n vergrößert und ggf. zu einer anderen Verteilungsfunktion übergegangen wird.

8. Zusammenfassung

Die Auffassung des Problems der Parameteridentifikation elektrischer Maschinen als Optimierungsproblem ermöglicht dessen Lösung auch bei eingeschränktem Informationsangebot. Auf der Grundlage des publizierten Verfahrens der (1, λ)-gliedrigen Evolutionsstrategie wurde ein allgemeiner Algorithmus zur Parameteridentifikation mathematischer Maschinenmodelle angegeben. Während Teil 2 dem offenen erscheinenden Problem der Globalitätsbewertung von mit Zufallssuchverfahren gefundenen Extrema und sich daraus ergebender Gesichtspunkte der Gestaltung der Suchstrategie selbst gewidmet ist, erfolgt im Teil 3 die Verfahrensanwendung hinsichtlich der Bestimmung der Ersatzschaltbildparameter von Asynchronmaschinen aus Katalogangaben.

Literatur

[1] *Müller, G.:* Theorie rotierender elektrischer Maschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1967
[2] *Habiger, E.; Mierke, W.; Büchner, P.:* Elektrische Kennwerte von Drehstrom-Asynchronmotoren. msr Berlin 11 (1968) 1, S. 38–40
[3] VEM Handbuch: Die Technik der elektrischen Antriebe. Berlin: VEB Verlag Technik 1974
[4] *Vogel, J.*, u. a.: Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungsbeispielen. Berlin: VEB Verlag Technik 1980
[5] *Nürnberg, W.:* Die Prüfung elektrischer Maschinen. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer Verlag 1959
[6] *Canay, M.:* Gleichstrommessungen zur Bestimmung der charakteristischen Größen von Synchronmaschinen. Bull. SEV 56 (1965), S. 943
[7] *Mrugowsky, H.:* Parameterbestimmung für Synchronmaschinen aus charakteristischen Betriebsdaten und Kennlinien. ELEKTRIE, Berlin 34 (1980) 2, S. 69 bis 72
[8] *Mrugowsky, H.:* Parameterbestimmung für Drehstrom-Asynchronmotoren in Doppelkäfigdarstellung aus charakteristischen Betriebsdaten. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 2, S. 84–87
[9] *Khalil, M. O.; El-Motti Zaher, M. A.:* Determination of the equivalent circuit parameters of deep-bar cage induction motor from experimental or given catalogues data. etz Archiv. Bd 6 (1984) 1, S. 33–37
[10] *Deleroi, W.:* Bestimmung von Asynchronmaschinen – Parameter aus Lastmessungen. etz Archiv 7 (1985) 10, S. 329–336
[11] *Heilmann, P. W.; Riedel, C.:* Entwurf einer Kompromißtheorie bei technischen Optimierungsproblemen. ELEKTRIE, Berlin 20 (1975) 7, S. 360–362
[12] *Peschel, M.; Riedel, C.:* Polyoptimierung – eine Entscheidungshilfe für ingenieurtechnische Kompromißlösungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1976
[13] *Bialy, H.; Olbrich, M.:* Optimierung. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1975
[14] Lexikon der Mathematik. Leipzig: VEB Bibliographisches Institut 1985
[15] *Kühne, M.; Pagel, W.:* Optimierung von Vorschiffsformen mit Hilfe der Evolutionsstrategie. Schiffbauforschung 23 (1984) 3, S. 177–179
[16] *Muth, C.:* Einführung in die Evolutionsstrategie. rt 30 (1982) 9, S. 297–303

EA 5803

PATENTE

Schirm- bzw. Außenleiterelement für ein- und mehradrige elektrische Kabel

DD-WP: 246399
Int.-Cl.: H 01 B 11/18
Anmeldetag: 14. 01. 86
Anmelder: VEB Kabelwerk Vacha

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das Ein- und Austreten von HF-Energie durch die bei starker oder häufiger mechanischer Beanspruchung entstehenden Risse in den Metallschichten einer als Schirm- und Außenleiterelement eingesetzten Metall-Plast-Verbundfolie ohne den Einsatz weiterer metallischer Werkstoffe oder zusätzlichen technologischen Aufwand bei der Kabelherstellung zu vermindern.
Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß neben den Metallschichten mindestens eine Plastschicht mit elektrisch leitenden Zusätzen, wie Ruß, Graphit oder Metallpulver, angeordnet ist. Die Verbundfolie kann vorteilhaft so beschaffen sein, daß sie aus einer beidseitig mit Metall beschichteten, leitende Zusätze enthaltenden Plastschicht besteht. Zur weiteren mechanischen Verstärkung können jedoch innerhalb des Verbundes auch weitere Schichten aus Plastwerkstoffen ohne Zusätze vorhanden sein. In diesen Verbunden wird die Schichtfolge zweckmäßig so gewählt, daß eine Plastschicht mit Zusätzen unmittelbar an eine Metallschicht grenzt.
Wird die Verbundfolie durch Verkleben der Schichten hergestellt, ist eine weitere Verbesserung der Schirmwirkung durch an sich bekannte Beimengung von leitfähigen Zusätzen zum Klebstoff zu erreichen.

D. Ufert, Berlin EA 2580

Schaltungsanordnung zur Erzeugung hoher Gleichspannung aus Mittelfrequenzspannung

DD-WP: 245 989
Int.-Cl.: H 02 M 7/155
Anmeldetag: 02. 05. 86
Anmelder: Budapest Mueszaki Egyetem, Budapest, HU

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß bei einer Schaltungsanordnung zur Erzeugung hoher Gleichspannung aus Mittelfrequenzwechselspannung, die einen Hochspannungstransformator und Gleichrichter enthält, dadurch gelöst, daß die Sekundärwicklung des Hochspannungstransformators n Stück von der Primärwicklung galvanisch getrennte Sekundärscheibenwicklungen enthält, die m Stück galvanisch verbundene Wicklungssysteme bilden ($m = n$ und $m = 3$), und die Ausgangsklemmen der galvanisch verbundenen Wicklungssysteme mit je einem Eingang eines nichtgesteuerten Gleichrichters verbunden sind. Das weiteren sind die Ausgänge der Gleichrichter derart in Reihe geschaltet, daß die gleichgerichteten Spannungen addiert werden und der positive bzw. negative Ausgang oder ein Mittelpunkt der Ausgänge des derart erhaltenen Gleichrichtersystems unmittelbar oder durch eine Impedanz geerdet ist und die Ausgangsklemmen des in Reihe geschaltete Gleichrichter enthaltenden Gleichrichtersystems und/oder die Ausgänge der Teilgleichrichter mit Filterstromkreis(en) oder Filterkondensator(en) verbunden sind. Der Eisenkern des Hochspannungstransformators ist als Manteltyp gebildet und die innen angeordnete Primärwicklung zylinderartig angeordnet. Über der zylinderartig gebildeten Primärwicklung ist eine konzentrische Abschirmplatte vorgesehen, die entlang des Mantels nebeneinander angeordnet ist und woraus die m Stück galvanisch verbundenen Wicklungssysteme gebildet sind. Die mit den Ausgängen der galvanisch verbundenen Wicklungssysteme verbundenen Gleichrichter sind Einphasen-Brückengleichrichter.

D. Ufert, Berlin EA 2587

Erdungs- und Kurzschließgerät

DD-WP: 247 777
Int.-Cl.: H 01 R 4/66
Anmeldetag: 26. 03. 86
Anmelder: VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht"

Es besteht die Aufgabe, ein Erdungs- und Kurzschließgerät für alle Kabelarten und Leitungsdurchmesser zu entwickeln, mit dem ein sicherer Erdungs- und Kurzschließkontakt herbeigeführt und keine Erschütterung auf benachbarte Kabel oder Leitungen ausgeübt wird, wobei das Antriebsaggregat des Erdungs- und Kurzschließgerätes elektrisch so zu isolieren ist, daß in der Umgebung des Antriebsaggregates das Auftreten von Potentialanhebungen bzw. Schrittspannungen beim Arbeiten an unter Spannung stehenden Leitern verhindert wird.
Die Aufgabe wird durch ein in das Kabel getriebenes Kontaktelement gelöst, wobei mehrere auswechselbare Kontaktelemente, auf einer Halteplatte in Reihe angeordnet, eine geschlossene Sichtfläche bilden und die Halteplatte mit einem Hubkolben und einem Gegenlager eine Erdungs- und Kurzschließvorrichtung ist. Diese Vorrichtung ist gegenüber einem hydraulischen Antrieb für den Hubkolben mit einem Hochdruckisolator elektrisch isoliert.

D. Ufert, Berlin EA 2697

Vorrichtung zum Herstellen einer zusätzlichen Kunststoffschicht auf einen strangförmigen Körper

DD-WP: 248 217
Int.-Cl.: H 01 B 13/06
Anmeldetag: 14. 04. 86
Anmelder: VEB Kabelwerk Nord

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Aufbringen einer zusätzlichen Kunststoffschicht auf einen strangförmigen Körper, insbesondere zur konzentrischen Umhüllung von Adern in der Kabelindustrie.
Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Nachteile bei den bisher bekannten Verfahren und Vorrichtungen zu vermeiden, indem insbesondere nur ein Kernführungsrohr und die Vorrichtung für zwei Kunststoffschichten angewendet wird.
Die Grundschicht wird durch das Kernführungsrohr und der Vorrichtung so geformt, daß sie den strangförmigen Körper gleichmäßig umschließt. Der Masseführungskanal an der äußeren zylindrischen Mantelfläche der Vorrichtung führt die farbliche Schicht, begrenzt durch das Gehäuse, erst um den Umfang und dann durch die Schlitze der Vorrichtung homogen auf die Grundschicht. Am Ende der Vorrichtung werden die Kunststoffschichten verschmolzen und durch eine Ziehfläche auf den strangförmigen Körper geformt.
Ziel der Erfindung ist die Bereitstellung einer Vorrichtung, mit deren Hilfe die Eigenschaften der Oberfläche verändert sowie Farbpulver und Investitionskosten zum Aufbringen einer zusätzlichen Kunststoffschicht eingespart werden.

D. Ufert, Berlin EA 2696

Verfahren zur Regelung periodisch belasteter elektrischer Antriebssysteme

DD-WP: 248 039
Int.-Cl.: H 02 P 5/00
Anmeldetag: 01. 10. 84
Anmelder: Technische Hochschule „Otto von Guericke", Magdeburg

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung periodisch belasteter elektrischer Antriebssysteme, die im allgemeinen einen Drehzahlregler, einen Sollwertgeber, einen Drehzahl- und einen Drehwinkelistwertgeber haben, insbesondere zur Anwendung in Antrieben von Kurbel-Exzenter-Scheren, Pressen, Stanzen u.ä.
Es bestand die Aufgabe, ein Verfahren zu entwickeln, das dynamische Drehmoment- und Stromschwingungen im Antriebssystem weitgehend verhindert.
Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß das Verfahren zur Regelung periodisch belasteter elektrischer Antriebssysteme folgende zwei Verfahrensschritte hat:
Der erste Verfahrensschritt besteht in einem Aufzeichnungsvorgang zur Ermittlung der Abhängigkeit der lediglich durch die Periodizität der wechselnden Belastungen des Antriebssystems hervorgerufenen Drehzahlregelabweichungen von den Drehwinkel- oder Drehzahlwerten, wobei wahlweise deren Ist- bzw. Sollwert Verwendung finden können.
Im zweiten Verfahrensschritt wird die erfaßte Abhängigkeit zur Kompensation der Drehzahlregelabweichung und damit zur Verhinderung von Korrekturströmen und -drehmomenten des Antriebssystems benutzt.

D. Ufert, Berlin EA 2700

Verfahren und Schaltungsanordnung zur Zweipunktregelung mit fester Pulsfrequenz

DD-WP: 247 780
Int.-Cl.: H 02 M 5/45
Anmeldetag: 25. 03. 86
Anmelder: VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Zweipunktregelung zu schaffen, die unabhängig von den gegebenen Lastverhältnissen am Ausgang des Wechselrichters die Pulsfrequenz konstant hält und die Verwendung von zusätzlichen Multiplikatoren oder von Strukturumschaltungen vermeidet.
Die Aufgabe wird unter Verwendung einer Regeleinrichtung mit einem Soll-Istwert-Vergleicher, einem Abtast- und Halteglied mit nachgeschaltetem Komparator sowie einem PI-Regler und einem Begrenzer erfindungsgemäß in der Weise gelöst, daß das Abtast- und Halteglied mit einer im Soll-Istwert-Vergleicher gebildeten Differenz von Sollgröße und Istgröße sowie mit einer Tastfrequenz bzw. Tastperiode äquivalenten Größe beaufschlagt wird. Die Pulsfrequenz oder Pulsperiode der Stellgrößenimpulse wird mit Hilfe des Zusatzregelkreises, dessen Eingangsgrößen der Pulsfrequenzsollwert und -istwert bzw. der Pulsperiodensollwert und -istwert sind, erfaßt. Als Meßfrequenz wird ein frequenzanaloges, insbesondere quarzstabilisiertes Signal, dessen Frequenz ein Vielfaches der Pulsfrequenz der Stellgrößenimpulse beträgt, verwendet. Als Tastfrequenz wird ein frequenzanaloges, insbesondere quarzstabilisiertes Signal, dessen Frequenz um ein Vielfaches gegenüber der Pulsfrequenz der Stellgrößenimpulse erniedrigt ist, verwendet.

D. Ufert, Berlin EA 2699

Anordnung zur Drehzahlregelung von Gleichstrommotoren

DD-WP: 249 796
Int.-Cl.: H 02 P 5/16
Anmeldetag: 04. 06. 86
Anmelder: VEB Carl Zeiß JENA

Das Ziel der Erfindung ist ein mit einfachen Mitteln realisierbarer Regelkreis zur zuverlässigen Drehzahlregelung eines Gleichstrommotors, z. B. für den Antrieb von Tonbandgeräten und Schallplattenspielern.
Ausgehend vom Ziel liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zur Drehzahlregelung von Gleichstrommotoren mit einer Einrichtung zur Erzeugung von drehzahlabhängigen Steuerimpulsen, einer Einrichtung zur Modulation der Breite der Steuerimpulse im Steuerstromkreis und einer Torschaltung im Betriebsstromkreis des Motors zu schaffen.
Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß als Einrichtung zur Veränderung der Breite der Steuerimpulse ein Monoflop vorgesehen ist, daß der Ausgang der Einrichtung zur Erzeugung von drehzahlabhängigen Steuerimpulsen mit dem Eingang des Monoflop verbunden ist und der Ausgang des Monoflop am Steuereingang der Torschaltung anliegt. Das Tor dieser Anordnung kann mit einem Schalttransistor realisiert sein. Als drehzahlabhängiger Impulsgeber kann ein mit der Motorwelle rotierendes Beeinflussungselement, z. B. ein optoelektronischer Geber, vorgesehen sein. Der Vorteil der Erfindung liegt darin, daß die Anordnung zur Drehzahlregelung von Gleichstrommotoren mit einfachen Mitteln realisierbar ist und zuverlässig bei einer hohen Funktionssicherheit arbeitet.

D. Ufert, Berlin EA 2685

Schaltungsanordnung zum unterbrechungsfreien Umschalten auf Batteriebetrieb im Reparaturfall

DD-WP: 248 506
Int.-Cl.: H 02 J 9/06
Anmeldetag: 24. 04. 86
Anmelder: VEB Fernmeldewerk Neustadt-Glewe

Bekannt sind Schaltungsanordnungen, die das Prinzip des unterbrechungsfreien Umschaltens auf Batteriebetrieb bei Netzausfall verwirklichen.
Es werden Lösungen mit unterbrechungsfreien Stromversorgungen beschrieben, die bei Normalbetrieb Gleichrichter-Batterie im Fall eines Fehlers des Gleichrichters oder bei Ausfall des Wechselspannungsnetzes auf Batteriebetrieb umschalten. Zum Beispiel wird die Anschaltung der Batterie über einen Thyristor beschrieben. Das hat den Nachteil, daß der Thyristor zusätzlich angesteuert werden muß.
Bei einer anderen Lösung wird bei Netzausfall die Überwachungsgruppe mit einem mechanischen Schalter gesteuert, und die Batterie an die Verbraucher angeschaltet. Nachteilig ist hier, daß eine zusätzliche Ansteuerung sowie ein zeitlicher Ausgleich während der Umschaltung erfolgen muß.
Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaltungsanordnung zum unterbrechungsfreien Umschalten auf Batteriebetrieb bei direkter Überwachung der Batterie während der Reparatur von Gleichrichteranlagen. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß zur Überbrückung des Überwachungsteiles im Gleichrichter bei dessen Ausfall durch das Zwischenschalten einer Gleichrichterdiode parallel zum Überwachungsteil ein unterbrechungsfreies Umschalten bei der Reparatur des Gleichrichters ermöglicht wird.
Die Anwendung der Erfindung erfolgt in Anlagen, die im Bereitschaftsparallelbetrieb arbeiten, vorzugsweise in Fernmeldeanlagen.

D. Ufert, Berlin EA 2684

ZEITSCHRIFTEN

Die „kleine" Energetik in den USA

Lavrovski, I. K.: Energochosjaistvo sa rubeshom (1987) 2, S. 46 bis 47

Seit der Änderung des Gesetzes zur Tätigkeit der Energiegesellschaften im Jahre 1978, das den Energieunternehmen erlaubt, von unabhängigen Kraftwerken Elektroenergie zu Preisen zu kaufen, die den Grenzerzeugungskosten im eigenen System entsprechen, entwickelte sich die sogenannte „kleine" Energetik schneller als erwartet. So wurde in den USA 1982 kein einziger und 1983 nur ein Großkraftwerksblock bestellt. Die anfangs geäußerten Zweifel in Richtung unsichere Erzeuger und hohe Kosten schlugen unter den Bedingungen des steigenden Elektroenergiebedarfs sowie wegen der möglichen Umgehung des finanziellen Risikos beim Neubau von großen Wärme- und Kernkraftwerksblöcken um. Die mittlere Kraftwerksleistung der unabhängigen Kraftwerke beträgt heute 20 MW und bei Fortsetzung des Entwicklungstempos kann ihre Gesamtleistung im Jahre 2000 etwa 60000 MW erreichen.

Den wichtigsten Platz unter den Kleinkraftwerken nehmen Heizkraftwerke ein, die beispielsweise in der Erdölförderung als ständiger Dampflieferant zwecks besserer Ausbeutung der Lagerstätten, in der Metallurgie, Chemie, Zellulose-Papier-Industrie günstige durchgehende Einsatzbedingungen vorfinden. In den USA werden Heizkraftwerksblöcke von 10 bis 300 MW produziert. Die Müllverbrennungs-Kraftwerke auf städtischer und industrieller (hauptsächlich Holzverarbeitungsindustrie) Abfallbasis haben eine installierte Leistung von 1400 MW.

Die Gesetzgebung in den entwickelten kapitalistischen Ländern begrenzt meist die Konkurrenzfähigkeit von Kleinwasser-Kraftwerken, die besonders günstige Bedingungen an schon existierenden Dämmen vorfinden. Sonnenenergetische Anlagen sind höchstwahrscheinlich am meisten verbreitet, z. B. auf Dächern, in unzugänglichen Gebieten usw. Heute ist der Strom aus Sonnenkraftwerken ungefähr fünfmal teuerer als der aus dem Zentralnetz. In den letzten 3 bis 4 Jahren sind in Kalifornien 8000 Windkraftwerke mit einer Gesamtleistung von etwa 600 MW errichtet worden. Sie sind meist in Gruppen angeordnet und an das öffentliche Netz angeschlossen. Infolge der intensiven geologischen Erkundung wächst gleichfalls die Anzahl der Geothermalenergiequellen. In Nordkalifornien sind 20 Geothermalkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 1300 MW in Betrieb.

Eine enge Verbindung zwischen wissenschaftlich-technischem Fortschritt und der „kleinen" Energetik sieht der Autor am Beispiel des Staates Kalifornien, dem Zentrum der Kosmos- und Mikroelektronikindustrie in den USA, wo die „kleine" Energetik in den nächsten fünf Jahren einen Anteil von 20 % erreichen soll.

E. Broßmann, Berlin EA 2564

Projekt eines Wellengroßkraftwerkes

Achmedov, R. B.; Lubanovski, V. I.
Energija (1987) 5, S. 16—20

Im Jahre 1986 gingen an der Küste Norwegens die ersten beiden an das öffentliche Netz angeschlossenen Wellenkraftwerke in Betrieb. Diese Kraftwerke mit 350 und 400 kW Leistung sind die ersten Wellenkraftwerke, die nicht ausschließlich bzw. hauptsächlich Versuchszwecken dienen.
Heute gelten vorrangig zwei Typen von Umwandlungsanlagen der Wellenenergie als perspektivisch, die in den norwegischen Wellenkraftwerken angewendet werden. Das ist erstens das in den 30er Jahren von dem Raumfahrtpionier *Konstantin Ziolkowski* entwickelte Prinzip der „oszillierenden Luftsäule". In einem schwimmenden Kasten ohne Boden hebt und senkt sich das Wasser und wirkt wie ein Kolben für die eingeschlossene Luft. Im Kastendeckel sind Kanäle eingebracht, durch die die Luft strömt und die darin montierten Windturbinen antreibt. Hierbei bewähren sich die Wells-Windräder bestens, die unabhängig von der Luftstromrichtung nur eine Drehrichtung haben.
Bei dem anderen Wellenkraftwerkstyp wird über eine geneigte Ebene oder Wand das Wasser nach oben geleitet. Diese Konstruktion erhöht die Wellenhöhe praktisch mehrmals, und das Wasser gelangt damit in ein Oberbecken. Den Höhenunterschied zwischen Oberbecken und Meer ausnutzend, treibt das durch ein Fallrohr geleitete Wasser eine Wasserturbine an.
Auf der Grundlage der bisherigen Erfahrungen mit den beiden kommerziell genutzten Wellenkraftwerken in Norwegen begann in Großbritannien die Projektierung eines Wellenkraftwerkes mit 2000000 kW Leistung, das vor den britischen Äußeren Hebriden-Inseln im Atlantik stationiert werden soll. Die Anlage wird sich einige Dutzend Kilometer an der Küste hinziehen und aus einzelnen Bausteinen zu je 5 MW bestehen. Jeder Baustein aus Stahlbeton soll eine Länge von 84 m, Breite von 15 m und Höhe von 34 m haben. Dieses Kraftwerk ist gleichfalls zur Verminderung der Uferzerstörungen gedacht. Es wurden auch schon Gedanken geäußert, das Kraftwerk für den Fischfang mit zu nutzen. Bedenken äußert die Schiffahrt bezüglich jener geplanten Großobjekte, besonders für den Fall, wenn sich bei starkem Stürmen ganze Segmentketten losreißen.

E. Broßmann, Berlin EA 2686

Schutz der Bevölkerung und des Personals vor dem Einfluß der 1150-kV-Hochspannungsleitungen

Tichodeev, N. N.
Isv. AN SSSR Energetika i transport (1987) 3, S. 152—157

Im Juli 1985 ging der erste 500 km lange Abschnitt der zukünftigen 2500 km langen 1150-kV-Hochspannungsleitung Sibirien — Kasachstan — Ural in Betrieb. An diesem Abschnitt der höchstgespannten Wechselstromleitung der Welt sind verschiedene Einflußuntersuchungen auf die Umwelt durchgeführt worden.
Die Leitung erfüllt die in der Sowjetunion gültige Norm, wo eine maximale Feldstärke von 15 kV/m in einer Höhe von 1,8 m über den Erdboden und bei einer Lufttemperatur von 32 °C vorgeschrieben ist. Die Höhe des Bündelleiters (8 mal 330) beträgt minimal 17,5 m über dem Erdboden.
Der maximale Strom durch einen unter der Leitung stehenden Menschen beträgt bei der Extremfeldstärke 15 kV/m 0,225 mA, was ungefähr 1 % aller Menschen fühlen.
Der Strom ist jedoch für einen Menschen eine reale Gefahr, wenn er beispielsweise einen Mähdrescher berührt, der sich im Punkt mit der größten Feldstärke längs zur Leitung befindet. Die mit Computern berechnete Stromstärke beträgt maximal 5 mA, was unter dem Abfallstrom für 0,5 % der Frauen (6 mA) und Männer (9 mA) liegt. Da ein Lastkraftwagen mit Anhänger infolge seiner Länge noch höhere Ströme bewirken kann, ist die zulässige Feldstärke über Straßen auf 10 kV/m begrenzt worden. Im ungünstigsten Fall, der LKW mit Anhänger steht längs zur Leitung auf trockenem Asphalt und der Mensch auf dem feuchten Straßenrand, sind 4,5 mA ermittelt worden.
Für das Reparaturpersonal sind für Arbeiten an Stellen mit Feldstärken über 5 kV/m spezielle Schirme über und an den Seiten des Arbeitsplatzes zur Verminderung des kapazitiven Stromes gefordert, was die Feldstärke um das 9- bis 16fache vermindert. Hierbei liegen die Ströme durch den Menschen im Bereich von 0,06 bis 0,12 mA, und die durch die Teilentladungen auftretenden Reizungen treten bei dem Großteil des Personals nicht auf.
Diese Ergebnisse stimmen mit den 25jährigen Erfahrungen mit 500-kV-Leitungen und 15jährigen mit 750-kV-Leitungen in der Sowjetunion überein, die entsprechend für Feldstärken von 12 bis 13 kV/m und 15 kV/m ausgelegt worden sind und werden.

E. Broßmann, Berlin EA 2687

Im Fachbuchhandel erhältlich

Netzwerkanalyse mit Mason-Graphen

Von Dr.-Ing. *Ulrich Mende*. Reihe Informationselektronik. 158 Seiten, 64 Bilder, 8 Tafeln, Broschur, DDR 16,50 M, Ausland 24,— DM. Bestellangaben: 553734 6/Mende, Netzwerkanalyse

Netzwerke mit konzentrierten Bauelementen werden im allgemeinen hinsichtlich ihrer Übertragungsfähigkeit mit Systemen gewöhnlicher Differentialgleichungen beschrieben. Die Lösungsverfahren sind sehr aufwendig, die Gleichungen lassen den Signalfluß und die Auswirkungen von Parameteränderungen im Netzwerk nicht überschaubar erkennen. Diese Nachteile vermeidet die graphentheoretische Netzwerkanalyse.
Der Autor will mit dieser Broschüre die noch relativ wenig angewandte Methode bekannter machen.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

BUCHER

Frequenzgesteuerte Drehstrom-Asynchronantriebe — Betriebsverhalten und Entwurf

Von *E. Seefried* und *G. Müller*
1. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 195 Seiten, 129 Bilder, 18 Tafeln

Die vom Verlag vorgelegte Monografie behandelt ausschließlich den Antrieb mit frequenzgesteuertem Drehstrom-Asynchronmotor und Umrichterspeisung. Die Autoren setzten sich das Ziel, das statische und dynamische Übertragungs-/Betriebsverhalten aus systemtheoretischer Sicht darzustellen und daraus Aussagen über die Projektierung dieser wichtigen Komponente von Automatisierungsanlagen abzuleiten.
Ohne jeden Zweifel ist das Anliegen des Buches als volkswirtschaftlich bedeutsam zu klassifizieren, unterstützt es doch die systematische Einführung (bzw. Verbreitung) des drehzahlvariablen Drehstromantriebs im besonderen und seiner Vollelektronisierung im allgemeinen. Die Autoren leisten somit einen wichtigen Beitrag zur Applikation dieses energetisch und materialökonomisch günstigen Antriebskonzepts, das unter den Restriktionen begrenzter Ressourcen zunehmend an Bedeutung gewinnen wird.
Der Titel hat ein ebenso anspruchsvolles wie informatives Niveau. Bereits seine Grobgliederung,

— allgemeine Beschreibung des Betriebsverhaltens der Dreiphasen-Asynchronmaschine
— Verhalten der Dreiphasen-Asynchronmaschine bei Stromrichterspeisung
— die Asynchronmaschine als Regelstrecke
— Stellglieder — Eigenschaften und Dimensionierung
— Signalverarbeitung in Umrichtern
— Regelung (analog, digital),

macht den logischen Aufbau deutlich. Der Leser wird vom allgemeinen Gleichungssystem zur Analyse des Betriebsverhaltens über die Besonderheiten bei der umrichtergespeisten Maschine und ihre regelungstechnischen Eigenschaften zum kompletten Antriebssystem geführt. Aus der mathematischen Beschreibung des stationären und dynamischen Übertragungsverhaltens der Asynchronmaschine werden Zustandsgleichungen, Signalflußbilder und ganze Regelungskonzepte hergeleitet. Dabei bieten Variantenvergleiche dem Leser wichtige Entscheidungshilfen. Hinsichtlich der Informationsverarbeitung wird der Inhalt von den Mitteln der Digital-/Mikrorechentechnik geprägt (ohne allerdings die klassische Analogtechnik zu vergessen), da überhaupt nur diese Ausführung potentiell eine wirtschaftliche Überlegenheit über den Gleichstrom-Antrieb sicherstellt.
Das Drehstromantriebs-Systemkonzept wird in gelungener Geschlossenheit auf akzeptabel hohem systemtheoretischen Niveau behandelt. Trotz einer betont theoretischen Grundlinie findet sich aber in dem Buch ebenfalls unmittelbar anwendungsbereites Wissen in Form praktischer Details, numerischer Beispiele, erreichter Parameter, Aufwandsbetrachtungen und geräte-

technischer Angaben, die natürlich einer „projektierenden Auseinandersetzung" mit dieser zukunftsträchtigen Technologie äußerst förderlich sind. Die auferlegte Beschränkung auf bestimmte, verbreitete Umrichterschaltungen wird gegenwärtig als vorteilhaft empfunden. Allerdings sollten in einer zweifellos notwendig werdenden weiteren Auflage andere Prinzipien (Direktumrichter, gepulste Netzstromrichter) einbezogen werden.

Um den methodisch und didaktisch ansprechend gebotenen Stoff vorteilhaft verarbeiten zu können, setzen die Autoren offensichtlich Grund- und Fachkenntnisse auf den Gebieten Regelungs-, Antriebs- und Stromrichtertechnik sowie Informationsverarbeitung voraus. Der angesprochene und auch erreichte Leserkreis umfaßt in der Industrie tätige Ingenieure bei Produzenten und Betreibern solcher Antriebssysteme, Studenten elektrotechnischer Fachrichtungen ebenso wie postgradual Auszubildende. Darüber hinaus kann das Buch natürlich ebenfalls anderen Automatisierungstechnikern als ein nützliches Hilfsmittel zum Erwerb von einschlägigem Wissen empfohlen werden.

Allen Interessierten steht außerdem ein umfangreiches, weiterführendes Quellenverzeichnis zur Verfügung.

Insgesamt beschleunigt diese Monografie die Einführung dieser zwar nicht grundsätzlich neuen, aber mit den Mitteln der jüngsten Elektronik-Innovationen nun vorteilhaft verwirklichbaren Technologie der Antriebstechnik. Hinzu kommt, daß sie infolge des Leserkreises ebenfalls einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zur notwendigen Steigerung des theoretischen Standes in der industriellen Wirklichkeit und damit zur Reduzierung des Abstandes zwischen Theorie (Forschung) und Praxis leistet.

J. Krause, Berlin EB 19

Moderne Kommunikationstechnologien und neue Medien

Von *W. J. Bartz, H.-J. Scheibl* und *E. Wippler* (Herausgeber). Sindelfingen: Export Verlag 1986. 306 Seiten, 109 Bilder

Die Kommunikationstechnik hat einen weitreichenden Einfluß auf viele Gebiete von Wissenschaft und Technik. Erst durch wirklich ausgereifte Kommunikationstechniken ist es möglich, das insgesamt anwachsende Wissenspotential der Menschheit überschaubar zu machen. Sie gehört sicher zu den Bereichen, in denen gegenwärtig das Wissen exponentiell ansteigt.

„Das Handbuch für Ingenieure" präsentiert das klar umrissene Thema in abgeschlossener Form und das, obwohl die Herausgeber für fast jeden der Teilabschnitte einen anderen Spezialisten — vornehmlich aus der Industrieforschung — verpflichtet haben. Im ersten Abschnitt werden die technischen Grundlagen der modernen Kommunikationstechnologien dargestellt. Dabei werden der gegenwärtige Stand und die Entwicklungstendenzen von Halbleitertechnik, Mikroprozessortechnik und Nachrichtentechnik sowie Fragen der Architektur von Kommunikationssystemen behandelt. Der zweite Abschnitt beschäftigt sich mit Weitverkehrsinformationsnetzen, wobei besonders auf die Fernmeldenetze der Post, auf die Nachrichtenübertragung mit Hilfe von Satelliten — einschließlich Satellitendirektempfang — und auf die heutigen Möglichkeiten von Bildschirmtext eingegangen wird. Außerdem werden nutzerfreundliche Dialog- und Informationszugriffssysteme vorgestellt.

Die im dritten Abschnitt dargestellten lokalen Netze (LAN) stehen noch am Anfang ihrer Entwicklung. Sie sollen innerbetriebliche Informationen, hauptsächlich des Büro- und Produktionsbereiches mit hoher Geschwindigkeit transportieren. Es werden Einsatzmöglichkeiten für Aufgaben der Büroautomation (Textverarbeitung, Electronic Mail) CAD-Arbeitsstationen, Meßwertüberwachung, Videokonferenzen usw. vorgestellt.

Der vierte Abschnitt beschäftigt sich mit Fragen der störsicheren Datenübertragung, dem Datenschutz und der Datenverschlüsselung. Außerdem werden Probleme bei Messungen in Kommunikationsnetzen erörtert.

Der umfangreiche fünfte Abschnitt ist dem betrieblichen Einsatz von Kommunikationstechnologien gewidmet. Er umfaßt Fragen von Organisation und Planung, Betriebsdatenerfassung, Einsatz in Entwicklung und Konstruktion sowie in der Verwaltung. Außerdem wird auf arbeitswissenschaftliche Probleme der Mensch/Maschine-Schnittstelle und auf die „Künstliche Intelligenz" eingegangen. Ein letzter Abschnitt beschäftigt sich mit Rechtsfragen.

Die in dem Buch vorgestellten technischen Systeme, Normen und gesetzlichen Vorschriften haben naturgemäß eine nationale Spezifik (BRD). Allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten sind jedoch ohne Schwierigkeiten zu erfassen.

Das Buch wendet sich gleichermaßen an Ingenieure und Wirtschaftsfachleute. Es erfordert keine speziellen Vorkenntnisse. Ein tieferes Eindringen in die Problematik wird durch umfangreiche Literaturangaben am Ende jedes Abschnitts erleichtert.

G. P. Müller, Dresden EA 2724

Grundzüge der Informatik II.

Von *E. H. Waldschmidt* und *H. G.-G. Walter*.

Reihe Informatik 52. Mannheim/Wien/Zürich: Bibliographisches Institut B. I.-Wissenschaftsverlag 1986. 335 Seiten, zahlr. Abb. Broschur.

Dieses Buch gehört ebenso wie der dazugehörige Teil I in die Sachgebietsreihe Informatik. Das allein sollte jedoch weder den Geräteentwickler noch den Technologen davon abhalten, ein solches Buch für seine Weiterbildung zu nutzen, vielmehr sollte er jede Gelegenheit ergreifen, sich mit Hilfe verständlicher, einen Überblick verschaffender Fachbücher das Gebiet der Informatik zu erschließen, zumal er künftig zunehmend z.B. rechnerintegrierte Gerätesysteme entwickeln bzw. sich rechnergestützter Arbeitsmethoden bedienen wird.

Der thematische Aufbau dieses Teils II kommt jedenfalls der Denkweise des Geräteentwicklers sehr entgegen. Ausgehend von den Erfordernissen problemorientierter Programmierung werden die dementsprechenden Strukturelemente der maschinennahen Sprache und Rechnerarchitektur beschrieben, die letztlich der Erläuterung und Optimierung bestimmter Schaltkreisstrukturen dienen. Anhand dieser stufenweisen Untersetzung von der Programmierebene in die Hardwareebene zeigen die Autoren den zwischen diesen Stufen vor sich gehenden Wechsel des Informationsverarbeitungsprinzips: den Übergang von der vorherrschend sequentiellen Arbeitsweise bei der maschinennahen Programmierung zur Parallelverarbeitung in der Hardwareebene. Viele Teilfunktionen, Organisationsprobleme und Programmierarten, mit denen der Gerätetechniker sich eher aus der Sicht des Anwenders befassen muß, werden im Buch vom Problem einer rationellen Informationsverarbeitung her betrachtet und eröffnen damit dem Leser ein zusammenhängendes theoretisches Verständnis der Funktionsweise von Rechenanlagen. Darin liegt aber auch die Schwierigkeit für jene Leser, die sich erst in das Gebiet der Informatik einarbeiten wollen, denn die einzelnen Ausführungen sind knapp gehalten, so daß auf Sekundärliteratur zurückgegriffen werden muß. Für diesen Zweck ist die Liste der weiterführenden Literatur aber relativ spärlich.

Aufgrund seines Übersichtscharakters kann das Buch ein Wegweiser für die Erschließung des Fachgebiets sein, durch seine teilweise starke theoretische Ausrichtung wird jedoch vom Lernenden viel Fleiß verlangt.

D. Ender, Berlin EA 2717

Kürzlich erschienen

Handbuch TTL- und CMOS-Schaltkreise

Von *E. Kühn*. Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 424 Seiten, 296 Bilder, 101 Tafeln. Pappband 42,— Mark.
Bestell-Nr. 553 964 0
ISBN 3-341-00570-6

Der Titel umfaßt die modernen und heute eingesetzten TTL-Baureihen 74 Standard, 74 LS, 74 S, 74 ALS, 74 AS, die Interface-Baureihe 75 und die CMOS-Baureihen CD 4900, HEF 5000 und 74 HC sowie die Advanced-CMOS-Reihe 74 AC.

Neben den allgemeinen Eigenschaften der einzelnen Schaltkreisreihen (Schaltungsaufbau, statisches und dynamisches Verhalten, Störeinflüsse) werden Funktion, Kenndaten, Anschlußbelegung sowie Anwendungsbeispiele für die dazugehörigen Schaltkreistypen angegeben.

Bei der 3. Auflage wurde die zwischenzeitlich entwickelte hochintegrierte Advanced-CMOS-Baureihe 74 AC berücksichtigt. Einige weitere Diagramme für die bipolare FAST-Reihe sowie einige neue Tafeln sind hinzugekommen.

Die Redaktion

Документация

Шуберт, П.; Кохан, Г.
Первопроходцы электротехники — инженеры электромашиностроения
ELEKTRIE, Берлин 42 (1988), 5, стр.166—168, 5 рис., 6 лит.

Представляются три инженера, жизнь и деятельность которых неразделимо связаны с подъемом электромашиностроения в ранней его индустриальной фазе: почетный д-р инж. Эмиль Готфрид Фишингер (1860—1931 гг.), д-р Макс Корсепиус (1865—1910 гг.), проф. Юлиус Хойбах (1870—1923 гг). Напоминая о них выдающихся достижениях отмечаются заслуги трех первопроходцев электротехники в электромашиностроении. Электромашиностроение в ГДР особенно обязано традициям, ими обоснованным.

Мёккель, Р.
Низковольтные асинхронные двигатели ЕМ — свидетельство непрерывных научных исследований и конструкторской работы
ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 5, стр.168—173, 11 рис., 2 табл., 10 лит.

Огромное развитие в производстве средств производства оказало значительное влияние на объем вышуска электромеханических преобразователей энергии в международном масштабе. В промышленных странах за прошедшие четыре десятилетия количество выпускаемых вращающихся электрических машин повысилась в несколько раз. Существенную долю в этом росте в ГДР представляет технический надежная, недорогая низковольтная асинхронная машина VEM.

Райхе, Х.
Научные исследования для электромашиностроения
ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 5, стр.173—176, 10 лит.

Народное предприятие Электромашиненбау в нашем народном хозяйстве отвечает за разработку и производство значительной части принятого всемирно ассортимента вращающихся электрических машин.
Максимальное разделение труда в народном хозяйстве ГДР обеспечивает — в национальных масштабах — максимальные годовые количества выпуска и, тем самым, высокую степень механизации и автоматизации, которая реализуется на основе оборудования, отличающегося высшем уровнем по сравнению в мировом масштабе аналогичным оборудованием.

Линзель, К.-Х.; Порцель, Р.
Диагнозирование неисправностей изоляции в обмотках электрических машин
ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 5, стр.177—179, 6 рис., 19 уравн., 9 лит.

В процессе испытания изоляции виток высокольтных катушек электрических машин чувствительным измеряемым значением для учета частичных разрядов и замыканий между витками оказывается коэффициент затухания затухающегося колебательного напряжения над испытуемым объектом. Оценка испытания упрощается в случае учета в цифровом виде количества полупериодов колебаний.

Харкс, Г.
Автоматизированный при помощи ЭВМ расчет трапецеидальных роторных стержней
ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 5, стр.180—182, 3 рис., 30 уравн., 5 лит.

Указанные в работе расчетные соотношения пригодны для определения на базе ЭВМ зависимого от вытеснения тока импеданса или, соответственно, элементов эквивалентной схемы трапецеидального роторного стержня. Для определения функциональных значений функций Бесселя и Ханкеля с комплексными аргументами, содержащихся в указанных расчетных соотношениях, приводятся степенные ряды и асимптотические формулы. В работе представляется программ ТУРБО-ПАСКАЛЬ для расчета импеданса.

Халле, Х.; Гроссханс, Г.
Автоматизированный при помощи ЭВМ выбор механического передаточного элемента стандартных двигателей VEM
ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 5, стр.182—183, 3 рис.

Хоппе, З.
Вентильные преобразователи тока для приводов подачи
ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 5, стр.183—186, 7 рис.

На основе требований, предъявляемых сервосистемами станков к своему приводу, рассматриваются характерные признаки вентильных преобразователей тока для приводов подачи. При этом рассматривается их развитие в прошлом и в будущем под влиянием предложения сервомоторов и электронных элементов.

Беккерт, У.; Нойбер, В.
Цифровое моделирование асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором в динамическом режиме
ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 5, стр.187—189, 7 рис., 1 табл., 22 уравн., 3 лит.

Описывается ориентированный на уравнения способ цифрового моделирования асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором в динамическом режиме. Явление вытеснения тока в роторе при этом учитывается путем ступенчатого приближения распределения плотности тока в стержнях ротора.

Фишер, З.; Мюнх, У.; Паулиг, Э.; Шуберт, П.; Фогт, К.; Витт, Д.
Применение сетевого анализа в области электрических машин — Часть 2
ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 5, стр.190—193, 10 рис., 10 уравн., 7 лит.

В то время, как в I-ой части данной работы было указано на возрастающее значение сетевого анализа как общего метода расчета на базе все шире применяемой децентрализованной вычислительной техники, во 2-ой части приводятся примеры расчетов из термодинамики, расчета магнитного поля, расчета вытеснения тока, механики, а также по переходному процессу для подчеркивания производительности сетевого анализа. На первом плане стоит решение проблем электрических машин.

Дидрихс, В.
Об идентификации модельных параметров электрических машин посредством стохастической оптимизации
ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 5, стр.193—194, 12 уравн., 16 лит.

Определение модельных параметров рассматривается как проблема оптимизации которая может решаться, между прочим, с помощью стохастических методов. Для этого приводится общий алгоритм на базе эволюционной теории.

Documentation

Schubert, P.; Kochan, G.
Pioneers of the Electrotechnical Engineers in the Electrical Engineering Industry
ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, pp.166—168, 5 Figs., 6 Refs.

Three engineers are represented, who's lives and works are connected inseperably with the increase of the electrical engineering industry in its early industrial phase: Dr.-Ing. e.h. *Emil Gottfried Fischinger* (1860—1931); Dr. *Max Corsepius* (1865 bis 1910); Prof. *Julius Heubach* (1870—1923). Together with remembering their projecting results the merits of these pioneers of the electrotechniques in the electrical engineering industry are honoured. The electrical engineering of the GDR is obliged, especially, to the traditions, founded by them.

Möckel, R.
VEM-Low-Voltage Asynchronbus Motors — Certificate of Continuous Research and Development
ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, pp.168—173, 11 Figs., 2 Tables, 10 Refs.

The enormous development in the production of investment goods influences considerably the production range of electromechanical transducers in the international level. During the past four decades the production numbers of rotating electrical machines were increased by multiples in the industrial countries. A considerable part of this increasing in the GDR is given by the technically robust, cost-reduced VEM-low-voltage asynchronous machine.

Reiche, H.
Research for the Electrical Engineering Industry
ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, pp.173—176, 10 Refs.

The VEB Kombinat Elektromaschinenbau is responible in our economy for the development and production of the most important part of the assortment of rotating electrical machines, known in the technical world. The strict division of labour, to which in the economy is aspired, guarantees — nationally seen — maximum numbers of pieces per annum and with it a high mechanizing and automating level, which is realized by equipments, which offer the highest level, compared with the international one.

Linsel, K.-H.; Porzel, R.
Diagnosis of Insulating Faults in Windings of Electrical Machines
ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, pp.177—179, 6 Figs., 19 Equations, 9 Refs.

In testing winding insulation of high-voltage coils of electrical machines the damping factor of the damped oscillating voltage along the test probe is proved as sensitive measuring value to detecting partial discharges and interturn short-circuits. Evaluating is simplified, when the number of the half oscillations is detected digitally.

Harcks, G.
Computer Aided Impedance Computation of Trapezoidal Rotor Bars
ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, pp.180—182, 3 Figs., 30 Equations, 5 Refs.

The computation relations of this paper are adapted to computer aided determining the impedance, depending of the current displacement, respectively, the elements of the equivalent circuit of the trapezoidal rotor bar. To determining the function values of Bessel's and Hankel's functions, comprised in that computation relations, by using complex arguments exponential series and asymptotic formulas are given. In this contribution a TURBO-PASCAL-programme is represented, adapted to the impedance computation.

Halle, H.; Großhans, G.
Computer Aided Selection of the Mechanical Transmission Element of VEM-Standard-Motors
ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, pp.182—183, 3 Figs.

Hoppe, S.
Inverters Adapted to Feed Drives
ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, pp.183—186, 7 Figs.

By means of the requirements, which have machine tool servo-systems to its drives, the characteristic features of inverters of feed drives are illustrated. Thereby both the hitherto known and the future developments are discussed under the influence of the supply of servomotors and electronic components.

Beckert, U.; Neuber, W.
Digital Simulation of Asynchronous Motors with High Bar Rotor in Dynamic Operation
ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, pp.187—189, 7 Figs., 1 Table, 22 Equations, 3 Refs.

A method, oriented to equations, of digitally simulating asynchronous motors with high bar rotor in dynamic operation is described. Thereby the current displacement effect within the rotor is considered by a stepped approximation of the current density distribution in the rotor bars.

Fischer, S.; Münch, U.; Paulig, E.; Schubert, P.; Vogt, K.; Witt, D.
Use of the Network Analysis in the Field of Electric Machines.
Part 2
ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, pp.190—193, 10 Figs., 10 Equations, 7 Refs.

Whereas in part 1 of this contribution to the increasing importance of the network analysis as general computing method was hinted, caused by the stabilizing decentral computing techniques, in part 2 computing examples of the thermodynamics, the magnetic field computation, the computation of the current displacement, the mechanics and of the transient behaviour are given, to emphasize the efficiency of the network analysis. Primarily problems of electric machines are solved.

Diedrichs, V.
To the Identification of the Model Parameters of Electric Machines by Means of Stochastic Optimization
ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, pp.193—194, 12 Equations, 16 Refs.

The determination of the model parameters is seen as an optimizing problem, which among other things may be solved by stochastic methods. On base of the evolution theory a general algorithm is given.

ELEKTRIE

Schubert, P.; Kochan, G.

Pioniere der Elektrotechnik — Ingenieure im Elektromaschinenbau

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, S. 166–168, 5 Bilder, 6 Lit.

Drei Ingenieure, deren Leben und Wirken untrennbar mit dem Aufschwung des Elektromaschinenbaus in seiner frühen industriellen Phase verbunden ist, werden vorgestellt: Dr.-Ing. e. h. *Emil Gottfried Fischinger* (1860–1931); Dr. *Max Corsepius* (1865–1910); Prof. *Julius Heubach* (1870–1923). Mit der Erinnerung an ihre herausragenden Leistungen werden die Verdienste dieser Pioniere der Elektrotechnik im Elektromaschinenbau gewürdigt. Der Elektromaschinenbau der DDR ist den durch sie begründeten Traditionen besonders verpflichtet.

Möckel, R.

VEM-Niederspannungs-Asynchronmotoren — Zeugnis kontinuierlicher Forschung und Entwicklung

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, S. 168–173, 11 Bilder, 2 Tafeln, 10 Lit.

Die enorme Entwicklung in der Investitionsgüterproduktion hat einen erheblichen Einfluß auf den Fertigungsumfang von elektromechanischen Energiewandlern im internationalen Maßstab genommen. In den Industrieländern stiegen in den zurückliegenden vier Jahrzehnten die Produktionsstückzahlen an rotierenden elektrischen Maschinen auf ein Vielfaches. Einen erheblichen Anteil an diesem Wachstum in der DDR hat die technisch robuste, preisgünstige VEM-Niederspannungs-Asynchronmaschine.

Reiche, H.

Forschung für den Elektromaschinenbau

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, S. 173–176, 10 Lit.

Der VEB Kombinat Elektromaschinenbau ist in unserer Volkswirtschaft für die Entwicklung und Produktion des bedeutendsten Teils des in der Welt üblichen Sortiments rotierender elektrischer Maschinen verantwortlich. Die in der Volkswirtschaft der DDR angestrebte strenge Arbeitsteilung sichert — national gesehen — maximale Jahresstückzahlen und damit einen hohen Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad, der mit Ausrüstungen realisiert wird, die im internationalen Vergleich Höchstniveau aufweisen.

Linsel, K.-H.; Porzel, R.

Diagnose von Isolierungsfehlern in Wicklungen elektrischer Maschinen

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, S. 177–179, 6 Bilder, 19 Gln., 9 Lit.

Bei der Prüfung der Windungsisolierung von Hochspannungsspulen elektrischer Maschinen erweist sich der Dämpfungsfaktor der gedämpft oszillierenden Spannung über dem Prüfling als empfindlicher Meßwert zur Erfassung von Teilentladungen und Windungsschlüssen. Die Auswertung wird vereinfacht, wenn die Anzahl der Halbschwingungen digital erfaßt wird.

Harcks, G.

Rechnergestützte Impedanzberechnung trapezförmiger Rotorstäbe

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, S. 180–182, 3 Bilder, 30 Gln., 5 Lit.

Die im Beitrag aufgeführten Berechnungsbeziehungen eignen sich zur rechnergestützten Ermittlung der stromverdrängungsabhängigen Impedanz bzw. der Ersatzschaltbildelemente des trapezförmigen Rotorstabes. Für die Bestimmung der in diesen Berechnungsbeziehungen enthaltenen Funktionswerte von Bessel- und Hankelfunktionen mit komplexen Argumenten werden Potenzreihen und asymptotische Formeln angegeben. Im Beitrag wird ein TURBO-PASCAL-Programm zur Impedanzberechnung vorgestellt.

Halle, H.; Großhans, G.

Rechnergestützte Auswahl des mechanischen Übertragungselementes von VEM-Standardmotoren

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, S. 182–183, 3 Bilder

Hoppe, S.

Stromrichter für Vorschubantriebe

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, S. 183–186, 7 Bilder

Aus den Anforderungen, die Werkzeugmaschinenservosysteme an ihren Antrieb stellen, werden die charakteristischen Merkmale von Stromrichtern für Vorschubantriebe erläutert. Dabei wird auf ihre bisherige und künftige Entwicklung unter dem Einfluß des Angebotes von Stellmotoren und elektronischen Bauelementen eingegangen.

Beckert, U.; Neuber, W.

Digitale Simulation von Asynchronmotoren mit Hochstabläufer im dynamischen Betrieb

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, S. 187–189, 7 Bilder, 1 Tafel, 22 Gln., 3 Lit.

Es wird ein gleichungsorientiertes Verfahren zur digitalen Simulation von Asynchronmotoren mit Hochstabläufer im dynamischen Betrieb beschrieben. Die Stromverdrängungserscheinung im Läufer wird dabei durch eine treppenförmige Annäherung der Stromdichteverteilung in den Läuferstäben berücksichtigt.

Fischer, S.; Münch, U.; Paulig, E.; Schubert, P.; Vogt, K.; Witt, D.

Anwendung der Netzwerkanalyse auf dem Gebiet elektrischer Maschinen — Teil 2

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, S. 190–193, 10 Bilder, 10 Gln., 7 Lit.

Während im Teil 1 dieses Beitrages auf die wachsende Bedeutung der Netzwerkanalyse als allgemeine Berechnungsmethode auf Grund der sich etablierenden dezentralen Rechentechnik hingewiesen wurde, werden im Teil 2 Rechenbeispiele aus der Thermodynamik, der Magnetfeldberechnung, der Berechnung der Stromverdrängung, der Mechanik und zum Übergangsverhalten angegeben, um die Leistungsfähigkeit der Netzwerkanalyse herauszustellen. Vordergründig werden Probleme elektrischer Maschinen gelöst.

Diedrichs, V.

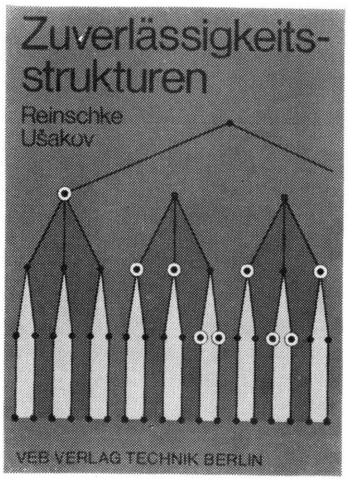
Zur Identifikation der Modellparameter elektrischer Maschinen mit stochastischer Optimierung

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, S. 193–194, 12 Gln., 16 Lit.

Die Bestimmung der Modellparameter wird als Optimierungsproblem aufgefaßt, das u. a. mit stochastischen Verfahren lösbar ist. Auf der Grundlage der Evolutionstheorie wird dafür ein allgemeiner Algorithmus angegeben.

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik Oranienburger Str. 13/14, Berlin, DDR, 1020 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 011228 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 28703 45) Ing. *Günther Barth*, Redakteur (Telefon 28703 43)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, Bereich Borsdorf Borsdorf, 7122
Gestalter	*Eckardt Natorp* (Telefon 28 70 287)
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, Berlin, 1020 PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR, 1157
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propagandit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11 a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS — Ústřédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 12000 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 885 47 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knijiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Ha Noi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Leipzig, DDR, 7010, Postfach 160 und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR, 7010

Neuerscheinungen



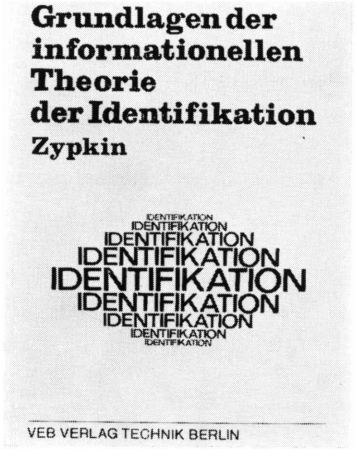
Zuverlässigkeitsstrukturen

Modellbildung · Modellauswertung

Von Dr.-Ing. habil. Dr. rer. nat. Kurt Reinschke und Prof. Dr. sc. techn. I. A. Usakov. 239 Seiten, 95 Bilder, 14 Tafeln, Leinen, DDR 33,– M, Ausland 38,– DM. Bestellangaben: 5537282/Reinschke, Zuverlässig

Mit wachsender Größe und komplizierterem Aufbau der Systeme wird es immer schwieriger, die erforderlichen Zuverlässigkeitsparameter zu gewährleisten. Die in der Praxis auftretenden Zuverlässigkeitsprobleme haben die Schaffung wissenschaftlich begründeter Methoden erzwungen.
Im Gegensatz zu den bisher recht zahlreich erschienenen Büchern über Zuverlässigkeitsmathematik wird in diesem Werk nicht von gegebenen Zuverlässigkeitsmodellen ausgegangen. Die Autoren konzentrieren sich vielmehr auf die Modellbildung, um die Zuverlässigkeitsstruktur eines Systems sichtbar zu machen. Dazu werden Graphen als das entscheidende Darstellungsmittel benutzt. Die Methoden sind sowohl auf technische als auch auf nichttechnische Systeme anwendbar. Es werden keine Vorkenntnisse über Zuverlässigkeitstheorie vorausgesetzt.

Gliederung: Einführung · Zuverlässigkeit netzartig strukturierter Systeme · Zuverlässigkeitsstrukturen für beliebig aufgebaute Systeme · Beschreibung des Prozeßverhaltens mit Hilfe von Graphen · Schlußwort · Literaturverzeichnis · Sachwörterverzeichnis.



Grundlagen der informationellen Theorie der Identifikation

Von Prof. Dr. d. techn. Wiss. Ja. S. Zypkin. Aus dem Russischen. 256 Seiten, 92 Bilder, 13 Tafeln, Kunstleder, DDR 36,– M, Ausland 56,– DM. Bestellangaben: 5537610/ Zypkin, Identifikation

Der Autor zeigt mit seiner informationellen Theorie der Identifikation eine Möglichkeit, geeignete Verfahren auf der Grundlage der vorhandenen A-priori-Information auszuwählen. Damit wendet er sich sowohl an Theoretiker auf den Gebieten der Kybernetik, mathematischen Statistik und angewandten Systemanalyse, die sich mit der Identifikation dynamischer Systeme beschäftigen, als auch an Praktiker, die z. B. in Technik, Medizin, Biologie, Landwirtschaft, Ökologie, Wasserwirtschaft, Meteorologie u. a. diese Algorithmen anwenden können.

Hauptabschnitte des Buches:

Aufgabe der Identifikation und ihre Besonderheiten · Optimale Verlustfunktionen · Absolut optimale Identifikationsalgorithmen · Klassenoptimale Verlustfunktionen · Absolut klassenoptimale Identifikationsalgorithmen · Identifikationsalgorithmen für Objekte, die bezüglich der Störung keinen minimalen Phasenverlust haben · Akzelerationsalgorithmen der Identifikation · Modifizierte Identifikationsalgorithmen.

VEB
VERLAG TECHNIK
BERLIN

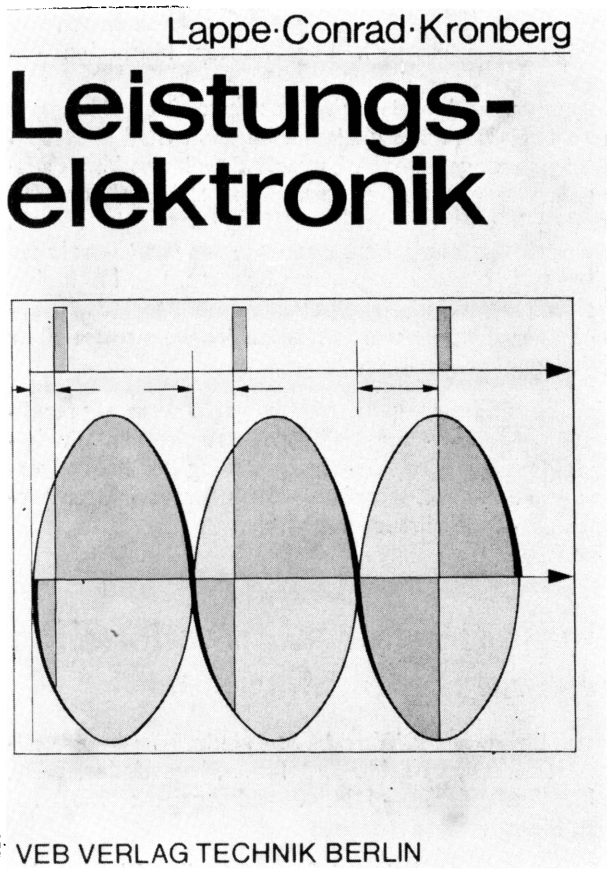
Auslieferung durch den Fachbuchhandel

ISSN 0013—5399
ELEKTRIE · Berlin 42 (1988) 5 · S. 161-

6130 5 177 027 465
KUMA KERAM WERKE
8612 7001 0130 DE 1

Neuerscheinung

Hochschullehrbuch



Von Prof. em. Dr.-Ing. habil. Rudolf Lappe, Prof. Dr. sc. techn. Harry Conrad und Prof. Dr. sc. techn. Manfred Kronberg
424 Seiten, 301 Bilder, 21 Tafeln, Kunstleder, DDR 32,— M, Ausland 85,— DM. Bestellangaben: 5537231/Lappe, Leistung

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Das Lehrbuch vermittelt einen Einblick in die physikalischen Grundlagen der Leistungs-Halbleiterventile (Dioden, Thyristoren, Transistoren), der Stromrichterschaltungen (insbesondere der Gleichrichter und der Wechselrichter), der Steuergeräte usw. Die für die optimale Auslegung der Ventile und Schaltungen benötigten wichtigsten Formeln werden abgeleitet.
In jedem Abschnitt wird durch Rechenbeispiele, Beschreibungen der Einsatzgebiete der Stromrichter sowie durch Übungsaufgaben der Zusammenhang zwischen Theorie und Praxis aufgezeigt.

AUS DEM INHALT:

Einführung Einsatzgebiete der Leistungselektronik. Grundprinzip der Leistungselektronik. Stromrichteranlagen. Entwicklung der Leistungselektronik

Halbleiterventile Physikalische Grundlagen. Dioden, Thyristoren, Triacs, Leistungs-Schalttransistoren. Technologie der Halbleiterbauelemente. Meßverfahren. Übungsaufgaben

Netzgelöschte Stromrichter und Wechselstromsteller Einführung. Einpulsgleichrichter, Gleichrichtertransformator, Verschiebungsfaktor. Zweipulsgleichrichter. Dreipulsgleichrichter, induktiver Spannungsabfall. Sechspulsgleichrichter und Gleichrichter höherer Pulszahl. Netzgelöschte Wechselrichter, Umkehrstromrichter, netzgelöschte Wechselstromumrichter. Wechsel- und Drehstromschalter und -steller. Meßverfahren für netzgelöschte Stromrichter. Übungsaufgaben

Selbst- und lastgelöschte Stromrichter Gleichstromsteller. Selbstgelöschte Wechselrichter. Lastgelöschte Wechselrichter. Meßverfahren. Übungsaufgaben

Steuerung der Stromrichter Einführung. Steueralgorithmen netzgelöschter Stromrichter. Steueralgorithmen selbstgelöschter Stromrichter. Aspekte der schaltungstechnischen Gestaltung der Steuergeräte. Schaltungstechnik ausgewählter Baugruppen von Steuergeräten. Übungsaufgaben

Stromrichtergeräte und -anlagen Netzrückwirkungen. Kurzschlußströme. Schutzeinrichtungen, Funk-Entstörung, Parallel- und Reihenschaltung. Gleichstromfilter. Konstruktive Formen. Beispiel zur Auslegung von Stromrichtern

Antworten zu den Übungsaufgaben · Formelzeichen und Schaltzeichen · Literaturverzeichnis · Sachwörterverzeichnis.